国防科技名词大典

核能

国防科技名词大典


ISBN 7-80134-857-5
9 787801 348579

内容提要

《国防科技名词大典》是我国第一部集国防科技工业各领域专业名词术语于一体的大型专业工具书，包括综合、核能、航天、航空、船舶、兵器、电子等7卷。全书共收词20000余条，彩色图表6000余幅，近1200万字。它是为适应我国国防科技工业发展的需要，由政府组织、行业支持、专家参与的大型系统工程，是国内外国防科技名词术语的积累与总结，是广大专家学者集体智慧的结晶。

核能卷是其中一卷，主要收录核能行业的科技名词术语，并附有核科技大事记。本卷共分11大类，收词近3200条，彩色图表近800幅，160余万字，适合国防科技工业、军队有关单位和其他相关行业的科技、管理人员及院校师生使用。

图书在版编目（CIP）数据

国防科技名词大典．核能／栾恩杰总主编；柴芳蓉分卷主编．—北京：航空工业出版社：兵器工业出版社：原子能出版社，2002.1
ISBN 7-80134-857-5

Ⅰ．国… Ⅱ．①栾…②柴… Ⅲ．①国防—科学技术—名词术语—词典 ②核技术—名词术语—词典 Ⅳ．TJ-61

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第030682号

责任编辑：王少雄　袁集荣　封面设计：麦醒媛

航空工业出版社
兵器工业出版社　出版发行
原子能出版社

深圳利丰雅高印刷有限公司印刷　全国各地新华书店经售
2002年1月第1版　2002年1月第1次印刷
开本：889×1194 1/16　印张：36　字数：1634千字
印数：1—3000　定价：320.00元

ISBN 7-80134-857-5
TL·001

《国防科技名词大典》

总编委会

《国防科技名词大典》
核能卷编委会

序

在21世纪到来之际，由国防科学技术工业委员会组织编撰的《国防科技名词大典》与读者见面了。

半个世纪以来，我国的国防科技工业经过数代科技工作者和广大职工的艰苦努力，不断发展壮大，为增强国防实力、建立现代工业和发展国民经济做出了重大的贡献。

21世纪将是中国人民创造辉煌时代的新时期。实施科教兴国战略，实现科技强国、科技强军的目标，我们任重道远。20世纪下半叶以来，科学技术突飞猛进，新概念、新成就、新技术、新方法层出不穷。在这种情况下，加强技术基础建设，为今后技术创新、学术和技术交流与合作创造更好的条件，是一项重要任务。组织专家对国防科技名词术语进行深入分析、研究，统一称谓，逐步实现通用名词术语标准化、规范化，是一项重要的基础性工作。《国防科技名词大典》的编撰和出版，正是适应了这种需要。这部辞书的编辑出版，为国防科技工业的持续发展和不断创新奠定了新的基础。

建国50多年来，我国国防科技工业系统出版了许多工具书，对提高科技水平、培养人才起到了重要作用。但是还没有一部比较完整的、包括所有相关领域的综合性辞书。现在出版的《国防科技名词大典》，具有权威性、系统性、实用性的特点，填补了这项空白。这部《国防科技名词大典》由7卷组成，分为综合卷和各专业卷，把综合性、通用性、基础性的词汇集中在综合卷，专业性较强的词汇则收录在各专业卷。在编撰过程中，既考虑到各专业相互之间的联系，减少重复，又保持了各卷的相对完整性。近年来，随着科学技术的发展，出现了大量的新词汇。本辞书收录了相当多的新词，经过专家们认真而严谨的斟酌、推敲，给这些新词以科学的命名和定义，使这部辞书具有了新颖性。国防科学技术工业委员会在短短两年的时间里，组织和聘请了3000多位包括两院院士在内的知名专家参与编撰工作，采取超常工作模式，出色地完成了这一浩繁工程。由于出版技术水平的提高，这部辞书一改“白纸黑

字”的传统印刷方式，采用电脑制作、彩色印刷，达到了以文为主、图文并茂的效果，做到了内容与形式的统一。我们有理由期望，这部《国防科技名词大典》的出版，对促进我国国防科技工业的迅速发展和科技水平的不断提高，将发挥重要的作用。

宋健

2001年12月16日

前 言

为了适应新世纪我国国防科技工业发展的需要，国防科学技术工业委员会在世纪之交，组织国内3000多位从事国防科技工作的专家学者，在短短两年时间内，编撰出版了这部《国防科技名词大典》(以下简称《大典》)。

这部《大典》是在对国防科技名词术语进行搜集、筛选、分析、研究的基础上编撰而成的，《大典》力求定义准确、概念清晰，具有标准化和规范化的功能。在编撰、审订过程中，《大典》总编委会按照“求新、求精、优质、高效”的原则，广泛动员国防科技工业系统的专家学者，精选词条，仔细推敲，严格把关。在编辑、出版过程中，各单位通过周密计划，精心组织，实施“过程跟踪，节点控制，里程碑考核”，完成了这部大型工具书的出版工作，其效率之高，在我国科技辞书的出版史上是不多见的。

《大典》是我国第一部集国防科技工业各领域专业名词术语于一体的大型专业工具书，具有权威性、系统性、实用性的特点。它的出版凝聚了我国国防科技工业众多专家学者的集体智慧，是国防科技工业技术基础工作的一项重要成果，必将推动我国国防科技工业在新世纪更快地发展。

这部《大典》共收词20000余条，彩色图表6000余幅，近1200万字，分为综合、核能、航天、航空、船舶、兵器、电子等7卷。综合卷主要包括国防科技综合性、通用性、基础性的词汇，同时附有全书的总索引；核能、航天、航空、船舶、兵器5个专业卷收录的主要是具有各行业特色的科技词汇；电子卷收录的主要是电子行业的基础性词汇，其他行业电子词汇则收录在相应专业卷中。各卷都附有相关的科技大事记。这部《大典》言简意赅、图文并茂、印装精美、用途广泛。

愿《大典》成为您工作中的良师益友。

刘积斌

2001年12月8日

凡　例

一、编排

1. 本书按国防科技门类分卷出版。全书共分为综合、核能、航天、航空、船舶、兵器和电子等7卷。其中综合卷包括国防科技综合性、通用性、基础性的词汇以及全书的总索引。

2. 各卷按条目名称的拼音字母顺序排列。第一字同音时，按阴平、阳平、上声、去声的声调顺序排列；同音、同调时，按笔画多少和笔顺排列。第一字的音、调、笔画、笔顺均相同时，按第二字的音、调、笔画、笔顺排列，依此类推。在本卷中，中文条目方括号 [ ] 内的词或字的汉语拼音字母参加排序；圆括号（ ）内的词或字的汉语拼音字母不参加排序。

3. 非汉字开头的条目，凡以拉丁字母开头的，排在汉语拼音相应字母的开头位置；以其他符号开头的，按习惯发音在汉语拼音中的相应位置排列。

4. 为便于读者按知识体系检索，各卷正文之前均列有本卷全部条目的分类目录，其中加 [ ] 的表示分类名称。第一级表示大类，第二级表示小类，第三级表示子类，第四级表示条目。条目之间不再分级。例如：

[燃料循环与核材料]

　[同位素分离]

　　[气体扩散法]

　　分离膜

　　分流比

5. 各卷中没有重复条目，即一个条目只有一个释文。为了保持各专业类的结构完整性，对共用条目，在分类目录的不同专业类中分别列出。

6. 各卷之间的条目尽量不重复。为了保持各卷的结构完整性，对共用条目，分别在不同卷的分类目录中列出，释文只在一卷中给出，其他卷参见该卷释文。例如“中子嬗变掺杂”，分别在核能卷、电子卷分类目录中列出，释文在核能卷给出，电子卷见核能卷。

7. 各卷科技大事记分为国内部分和国外部分，分别按时间顺序排列。

二、条目名称

8. 条目名称通常是词或词组，例如：“核保障”、“核保障协定”。

9. 条目名称上方加注汉语拼音，条目名称中的非汉字部分，在汉语拼音中直接写非汉字符号，条目名称中的标点符号在汉语拼音中省略。条目名称后附有条目外文名称。例如：

fuji you

富集铀　enriched uranium

三、释文

10. 条目释文力求使用规范的现代汉语，释文开始不重复条目名称，有别称时一般先写别称。

11. 本书条目一般不设层次标题，较长的释文分段叙述。

12. 一个条目的内容涉及其他条目并需要其他条目的释文加以补充，采用“参见”的方式，被“参见”的条目名称用楷体标出。例如：“随着反应堆的运行，由于核燃料消耗、温度效应、中毒等因素的变化，临界棒位也将发生变化（参见临界实验）”。

13. 仅设条目名称、没有释文的条目，采用“见”的方式查阅相应条目的释文。被“见”的条目在本卷的，在“见”的条目名称后用楷体注明被“见”的条目名称。例如：

zengqiang fushe wuqi

增强辐射武器 enhanced radiation weapon 见中子弹。

14. 条目释文中出现外国人名、地名、组织机构和产品型号名称时，一般不附原文。

15. 在每个条目释文之后，均注明了撰写、修订和审订人员的姓名。对于难以查找作者的引用条目，署名为代名。例如署名为“何可学”者，其释文引自原子能出版社1993年出版的《核科学技术辞典》第1版。

四、图表

16. 本书在条目释文中配有必要的图表，力求图文并茂，便于读者理解。

17. 在同一条目中，若图（或表）为一幅时，不标图（或表）序，只标图（或表）题。若图（或表）超出一幅时，则分别编上序号，标在图（或表）题之前。

18. 书中摄影作品已知作者的，署作者姓名；作者不详的，暂不署名；图片比较重要的，在图片下面注明出处。

五、索引

19. 各卷文前有分类目录，文后有条目外文索引。条目外文索引首先按拉丁字母顺序排列，以希腊文、俄文、罗马数字和阿拉伯数字开头的外文名称依次按顺序排列。本卷中如果遇到有希腊文或数字出现于拉丁字母中间的情况时，该条目排在相应的无希腊文或数字条目之后；方括号[ ]内的外文参加排序，圆括号( )内的外文不参加排序。

20. 综合卷书后附有全书的总索引，按汉语拼音的字母顺序排列。名称相同的条目在不同卷中有不同释文时，分别标出其在各卷的页码。名称相同的条目只在一卷有释文时，只标出有释文的卷名和页码。

六、参考文献

21. 本书在条目后面不附参考文献，各卷在书后集中列出本卷所参阅的参考文献。

七、其他

22. 本书所用条目名称，以全国自然科学名词审定委员会公布的为准，未经审定和统一的，从习惯。

23. 本书所用汉字，以国家语言文字工作委员会1986年10月重新发表的《简化字总表》为准。

24. 本书所用的标点符号，以《中华人民共和国国家标准》GB/T 15834—1995为准。

25. 本书所用数字，以《中华人民共和国国家标准》GB/T 15835—1995为准，但未进行数字分节。

26. 本书所用的量和单位，以《中华人民共和国国家标准》GB 3100～3102—93为准。少数采用英制单位的，换算成法定计量单位，或给出与法定计量单位的换算关系，在括号中注明。个别的采用惯用工程名称和单位，如“质量”用其习惯称呼“重量”表示，“千克”用其同义语“公斤”表示，“千米”用其俗称“公里”表示。

27. 本卷在条目名称中出现方括号[ ]时，方括号内的内容表示可以省略，例如“贝可[勒尔]”。条目名称中出现圆括号( )时，圆括号内的内容或表示“可用括号内的词(字)代替括号前面的词(字)”，或表示“注解”。

目 录

分类目录

[核动力装置]

[核武器]

[一般名词术语]

[核武器性能]

[武器核装置]

[引爆控制系统和遥测系统]

[核电子学与辐射测量]

[同位素与辐射技术]

[一般名词术语]

[放射性同位素的制备]

α feiwu

α废物 α bearing waste 含有半衰期大于30年的α发射体核素,其放射性活度浓度在单个包装中大于4×10^6Bq/kg(对于近地表处置设施,多个包装的平均α活度浓度大于4×10^5Bq/kg)的废物。α废物主要来自乏燃料后处理厂和操作钚与其他超铀核素的设施。我国的国家标准GB 9133—1996《放射性废物的分类》中采用了国际通用的规定,将原1988年版本中的"超铀废物"改为"α废物"。与超铀废物相比,α废物把所含的核素增加了铀、钍、镭、钋等天然α核素。但两者的性质有很多相似之处,如都有寿命长、放射毒性高(低毒组核素天然铀,^{235}U,^{238}U和^{232}Th除外)的特点,所以在废物管理的要求上与超铀废物相同。

(撰写:孙东辉 审订:王显德)

α lizi nengpu celiang

α粒子能谱测量 α particle spectrum measurement 记录α粒子强度随其能量变化的一组操作。对α粒子能谱测量,有射程测量法、能量灵敏探测器法,包括电离室、正比计数器、闪烁计数器和半导体探测器,以及电磁分析方法等。测量α粒子能谱最简单可行的是射程测量法,即用α粒子在某物质(如空气)中的射程来确定α粒子的能量,其测量不确定度取决于射程歧离的程度及射程—能量关系曲线的准确度。在现代核技术中,常用电离室、半导体等各种探测器通过α粒子能量全部损耗在探测器的灵敏体积中,其输出脉冲幅度与入射α粒子能量成正比的关系来测定α粒子的能谱。这类探测器的能量测量分辨率达0.2%~0.5%。用磁谱仪测量α粒子能谱时其能量分辨率可达0.01%,但造价高,一般用于原子核能级结构研究及其他具有重要应用价值的研究中。由α粒子的能谱可以获得有关核结构的信息,求得某种核素含量等;α粒子能谱的测量对辐射防护和保健物理学也具有重要的意义。

(撰写:丁声耀 审订:容超凡)

α lizi puyi

α粒子谱仪 α particle spectrometer 用于测量α粒子能谱的装置。常用的α谱仪有:(1)磁谱仪,特点是能量分辨率高,可达0.01%,但造价也高,一般用于原子核能级结构研究及其他具有重要应用价值的研究中。(2)闪烁探测器和气体探测器α谱仪,特点是测量方法很简单,但分辨率不高。屏栅电离室可用于大面积α样品的能谱测量,样品处理可以避免复杂的化学过程,但测量装置较复杂。(3)半导体α谱仪,用得较多的是金硅面垒探测器。它具有窗薄(金层厚度约20~30 nm)、固有噪声低、能量分辨率高、线性好、β及γ射线干扰小、工艺简单、成品率高等优点。影响这类谱仪能量分辨率的主要因素有:①产生载流子数目和能量损失的统计涨落;②探测器和电子学系统的噪声;③探测器窗厚度和放射源厚度的影响等。谱仪对^{241}Am的5.486 MeV能量α粒子的最好分辨率达12.1 keV,灵敏层1mm的探测器其探测上限对α粒子达40 MeV,用较厚灵敏层的硅锂漂移探测器可测量200~300 MeV的α粒子能量。如图所示为EG&G ORTEC公司出产的8道半导体α粒子谱仪。

8道半导体α粒子谱仪图

(撰写:丁声耀 审订:容超凡)

α mifeng

α密封 α confinement 将α放射性物质封闭在规定区域中,使其不泄漏到周围环境中的措施。对于某些核素如钚和超钚元素,由于它们的高比活度和高毒性,为使其不泄漏到环境中,需要采取严格的α密封。α密封包括静密封、动密封和转运密封。静密封的密封性由密封件的材质、密封面的粗糙度和比压决定。动密封由选择恰当的运动副的配合性质及两边保持一定的压力差来防止α放射性核素的泄漏。转运密封是将α放射性物质从一个封闭体转入另一个封闭体的过程中使其不泄漏到环境中。α密封技术和α密封装置广泛地应用于核领域的工厂、实验室中,尤其是处理超铀元素的各种场合。

(撰写:许源振 审订:郑华铃)

α mifeng pingbi jianxiu rongqi

α密封屏蔽检修容器 α confinement and shielded replacement container 具有生物屏蔽层和双盖门的,在检修、转运设备过程中保持α放射性核素不泄漏到周围环境中的容器。如图所示,容器的下方是双盖门,采用双盖密封转运技术可

卷扬机
自动抓取器
稳定销
观察装置
双盖门提升机构
开启后的双盖门
双盖门提升机构
双盖门

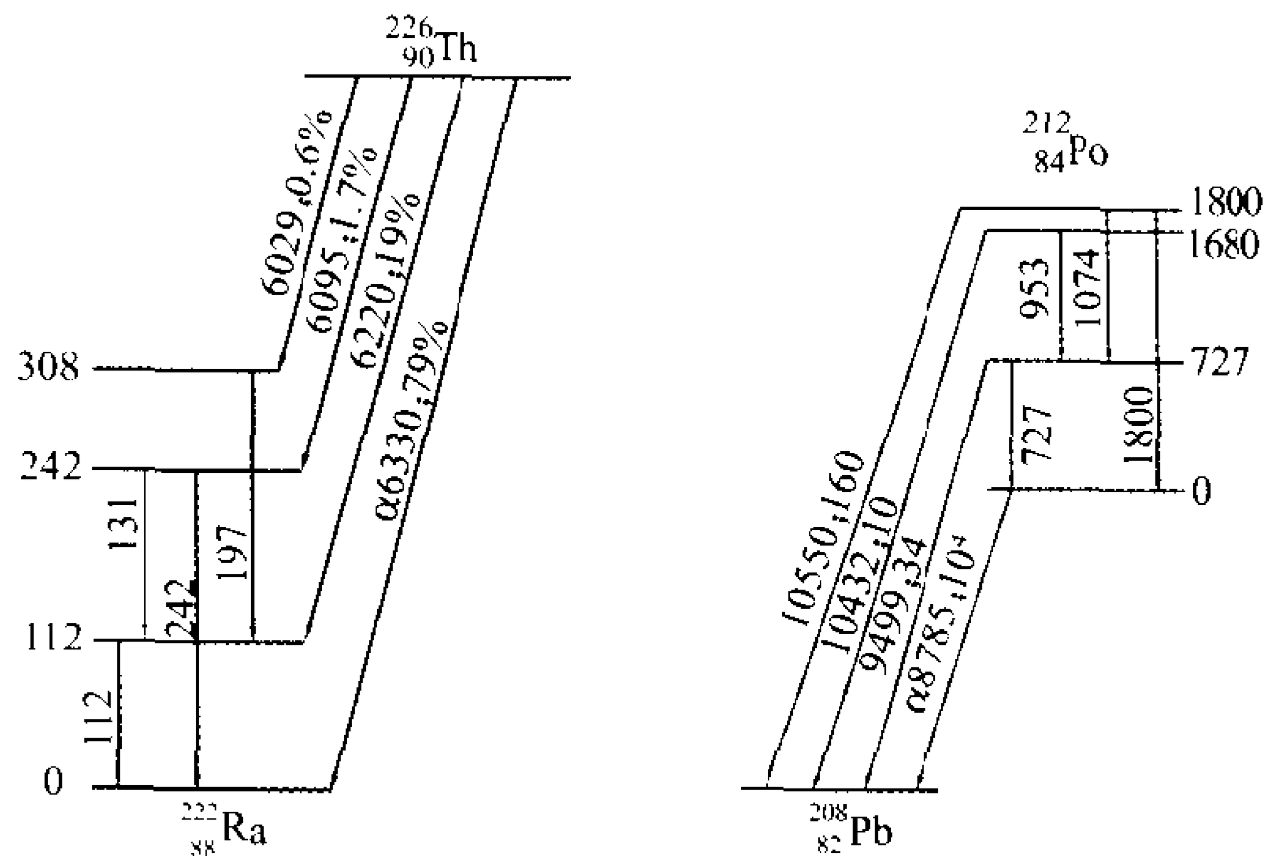
α密封屏蔽检修容器示意图

以将被检修的设备用容器里的自动抓取器在密封状态下吊到容器中，容器上可配备窥视窗和手套对设备进行检查和就地检修，或转运到检修热室中。已修好的设备可用相反程序就位。容器上有一层碳钢板、铸铁板或铅板，用以屏蔽γ射线。整个容器有良好的密封性。容器中有冲洗、通风等装置。α密封屏蔽检修容器应用于核燃料后处理厂或其他核领域的工厂以及超钚实验室等核设施中。

（撰写：许源振　审订：郑华铃）

α shuaibian

α衰变　α decay　原子核自发发射氦核 $^4_2$He (α粒子) 的过程。发生α衰变的必要条件是衰变能大于零。自然界存在的α衰变主要发生在 $Z \geqslant 83$ 的重核中。如果是高缺中子核，对于 $Z \leqslant 82$ 的核也能观察到α衰变。通常，α粒子的动能在4～9 MeV范围，α放射性核的半衰期变化范围很宽：10^{-7}s～10^{15}a。α衰变的半衰期对于衰变能的变化非常敏感的这个特征以盖革 (Geiger)–努塔尔（Nuttall）定律的形式被确立，并以微观粒子穿透库仑势垒（隧道效应）的量子力学过程给予理论解释。α能谱是分立的。α能谱的典型特征是大多有精细结构，它与原子核的能级结构有关。短射程α粒子是从母核的基态衰变到子核的某些激发态时发射的能量较低的α粒子，如 $^{226}_{90}$Th 的衰变（见图1）；长射程α粒子是从母核的激发态衰变到子核的基态时发射的能量较高的α粒子，如 $^{212}_{84}$Po 的衰变（见图2）。由α粒子的能谱可以获得原子核能级的信息，从而为研究原子核结构提供数据。



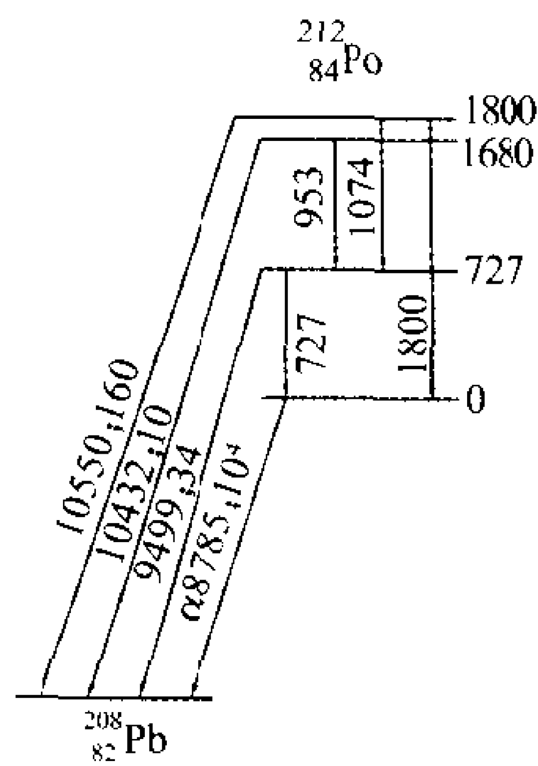


图1　$^{226}_{90}$Th的衰变示意图　　图2　$^{212}_{84}$Po的衰变示意图

（撰写：陈金象　审订：卢希庭）

a

锕　actinium　一种天然放射性元素，化学符号Ac，原子序数89，原子量227.0278，属锕系元素，其英文名来源于希腊文aktis(射线)。1899年法国人A.-L.德比埃尔内（Debierne）从铀矿渣中发现并分离出锕。现已发现质量数208～234全部锕同位素。金属锕为银白色金属，在暗处可发光，在空气中迅速氧化。锕的熔点为1050℃，沸点3200℃，密度10.07 g/cm³，面心立方晶格。锕原子的电子构型为(Rn) $6d^17s^2$，氧化态为+3，化学性质与镧和钇十分相似。示踪量的锕常用氟化镧或草酸镧共沉淀载带。^{227}Ac是锕最重要的同位素，可作为航天器中使用的热源。

（撰写：顾明杰　修订：郭景儒　审订：崔安智）

axi lilun

锕系理论　theory of actinides　与第六周期中镧系元素相似，在周期表第七周期中存在着一个自89号元素锕开始的一系列填入5*f*电子的由15个元素组成的元素系列，称为锕系元素。但在超铀元素发现之前，曾把锕、钍、镤和铀依次排列在周期表第七周期ⅢB，ⅣB，ⅤB和ⅥB族的位置上，这是因为它们与第六周期对应族中的镧、铪、钽和钨在最高价态上很相似。直到20世纪40年代G.T.西博格(Seaborg)对当时已发现的超铀元素镎，钚等的性质进行了深入研究，并在总结前人大量试验数据的基础上提出了"锕系理论"。据此，他曾推测96号元素锔的性质，认为它应有半充满的7个5*f*电子构型，非常稳定，应容易生成稳定的三价离子。后来锔的化学性质研究证实了这种预见。不仅在化学上，很多物理方面的试验数据如X射线谱、吸收光谱、光学和磁学数据、摩尔磁化率以及结晶学数据等都支持锕系理论。但当初也有不同观点，认为镎，钚和镅的化学行为与铀很相似，而不同于锕和钍，按5*f*电子组成的过渡系应以铀为首。直到发现了铲和𨧀，它们的性质分别与ⅣB族中的铪和ⅤB族中的钽一致，而不属于锕系。这样进一步证实了103号元素铹是锕系中的最后一员，使锕系理论得到了公认。

（撰写：罗文宗　审订：崔安智）

axi yuansu

锕系元素　actinides　元素周期表中第89号元素锕至103号元素铹，共15种放射性元素的统称。它们的化学性质相似，和镧系元素一样单独组成一个系列，在元素周期表中占有特殊位置。按照原子核外的电子能级，元素周期表第七周期内锕以后的元素逐次填充5*f*内层电子，直到充满14个5*f*内层电子为止。由于原子的最外层电子构型基本相同，所以这些元素组成了自成系列的锕系元素。在系列内元素之间的化学性质是很相近的，这种情况与镧系元素非常相似。锕系元素的毒性和辐射危害较大，必须在有防护措施的密闭工作箱中操作。^{239}Pu，^{235}U和^{233}U可用作核燃料。许多锕系核素除了利用其α辐射制成各种中子源外，还可利用产生的热能制成热源和热电池，如^{244}Cm，^{238}Pu等用作气象卫星及其他宇宙飞行器的能源，^{238}Pu还用作心脏起搏器。

（撰写：徐鸿桂　修订：罗文宗　审订：崔安智）

A xing huobao

A型货包　type A package　装有放射性活度低于A_1的特殊形式放射性物质或低于A_2的非特殊形式放射性物质的包装、罐或货物集装箱。对于种类和各自的放射性活度已知的放射性核素的混合物，A型货包的放射性内容物必须符合下述条件

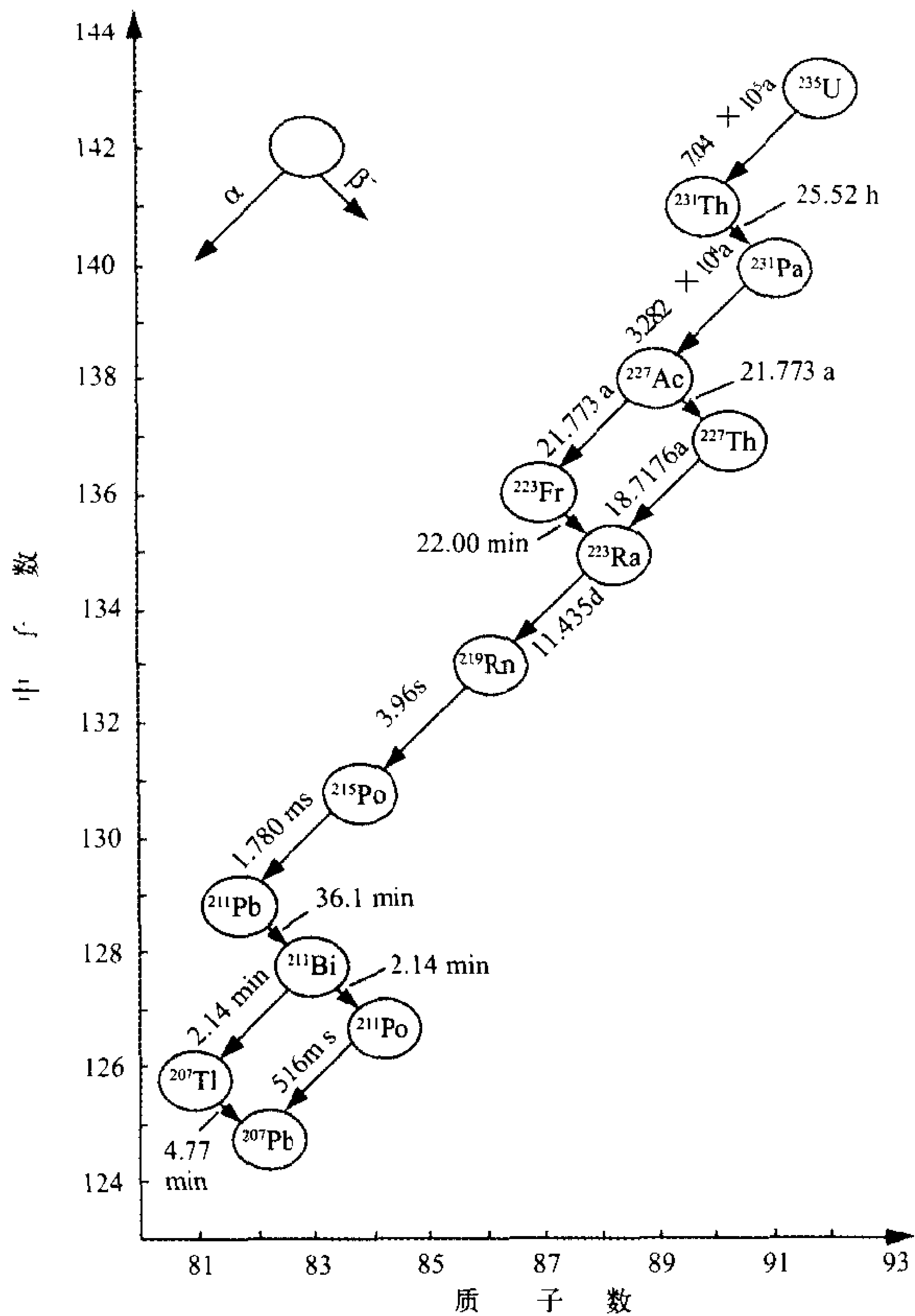
$$\sum_i \frac{B_{(i)}}{A_{1(i)}} + \sum_j \frac{C_{(j)}}{A_{2(j)}} \leqslant 1$$

式中 $B_{(i)}$ 为特殊形式放射性物质的第 i 种放射性核素的放射性活度；$A_{1(i)}$ 为第 i 种放射性核素的 A_1 值；$C_{(j)}$ 为非特殊形式放射性物质的第 j 种放射性核素的放射性活度；$A_{2(j)}$ 为第 j 种放射性核素的 A_2 值（参见放射性核素基本值 A_1 和 A_2）。

（撰写：董柳灿　审订：赵亚民）

a you xi

锕铀系　actinium uranium series　又称锕系或 $4n+3$ 系。从^{235}U到^{207}Pb，质量数按 $4n+3$（n 为正整数）规律变化的天然放射性衰变系，因有锕的长半衰期（约22 a）同位素^{227}Ac而得名。锕铀系的衰变系如图所示。



锕铀系衰变系图

（撰写：张丕禄　审订：郭景儒）

ADU chendian

ADU 沉淀　ADU precipitation　见重铀酸铵。

ai

锿　einsteinnium　一种人工放射性元素，化学符号 Es，原子序数 99，属锕系元素。该元素中半衰期最长的同位素是 ^{252}Es(471.7 d)。因纪念著名的物理学家 A.爱因斯坦而命名。1952 年美国的 A.吉奥索等从比基尼岛氢弹试验沉降物中首次成功地提取并鉴定了锿。在热核爆炸瞬间产生极高注量率的中子作用下，^{238}U 连续 15 次俘获中子和进行一系列 β^- 衰变，最终生成半衰期为 20.4 d 的 ^{253}Es。锿的电子构型为 (Rn) $5f^{11}6d^{0}7s^{2}$，氧化态为 +2，+3，在水溶液中通常是以锿(Ⅲ) 形式存在。锿是目前为止能获得的可称量的最重的元素。

（撰写：徐鸿桂　修订：罗文宗　审订：崔安智）

ai

砹　astatine　一种人工放射性元素，化学符号 At，原子序数 85，属周期系Ⅶ A 族。1940 年美国科学家 D.R.科森等用加利福尼亚大学回旋加速器加速的 28 MeV 的 α 粒子轰击铋靶，通过核反应 ^{209}Bi (α,2n) ^{211}At，合成了 85 号元素。砹是由希腊文 astatos (不稳定) 命名的。已发现质量数 194～223 的全部砹同位素，其中半衰期最长的同位素是 ^{210}At (8.3h)。砹的熔点为 302℃，沸点 337℃；电子构型为 (Xe) $4f^{14}5d^{10}6s^{2}6p^{5}$，氧化态有 −1，0，+1，+3，+5，+7。由于砹的同位素半衰期短，而且数量少，因此其性质大多是由它的同族元素用外推法得到的估计值。

（撰写：张志尧　修订：郭景儒　审订：崔安智）

anquan canshu xianshi xitong

安全参数显示系统　safety parameter display system (SPDS)　用于显示与反应堆安全功能（例如反应性控制、反应堆冷却剂系统的完整性、堆芯冷却和从反应堆冷却剂系统排出的热量、放射性控制、安全壳的完整性）有关的主要参数的系统。安全参数显示系统由仪表、显示设备和计算机组成，形成一个独立系统或被结合在控制室信息系统之中。安全参数显示系统应为控制室人员提供核电厂关键变量的简明显示，用于帮助控制室人员在异常和事故工况下迅速而又可靠地判断核电厂的安全状态，以及估计是否需要采取纠正动作。

（撰写：赵善德　审订：孙玉发）

anquanfa

安全阀　safety valve　对工业设施或装置进行超压安全保护的自动动作的阀门。它可以仅仅依靠阀门内部自身介质的作用力来排出额定数量的流体，从而防止设施或装置内部压力超过预定的安全限值。在压力回到正常值以后，阀门恢复关闭并阻止介质继续流出。安全阀按作用原理不同，分为直接作用式和非直接作用式两类。按阀瓣加载方式不同，分为重锤式、杠杆重锤式、弹簧式及气室式。它们还可以进一步细化分类，如非直接作用式安全阀又可细分为先导式和带补充载荷式安全阀等。在核动力装置和商用核电厂中大量采用各种形式的安全阀。在反应堆冷却剂系统的稳压器上和主蒸汽系统中，由于安全要求其排放流量大，管路的口径和系统的压力又都较高，并且要尽可能减少放射性泄漏，因而除了大量应用弹簧式安全阀之外，也广泛采用先导式安全阀。

（撰写：信天民　审订：范　刚）

anquan fenxi baogao

安全分析报告　safety analysis report　核设施营运单位为申请核安全许可证件而向国家核安全监管机构提交的论述该核设施安全性能及确保核安全、保障工作人员和公众健康、保护环境的措施的文件。

随着核设施建设及运行工作的进展，安全分析报告也将不断完善和补充，因此，安全分析报告可分为以下几个版本：(1) 初步安全分析报告，这是营运单位在申请建造许可证时向国家核安全监管机构提交的技术文件；(2) 最终安全分析报告，这是营运单位为申请核设施首次装料批准书向国家核安全监管机构提交的技术文件。和初步安全分析报告相比，最终安全分析报告更为详尽并且根据最终设计及建造的实际情况做了修正；(3) 修订的最终安全分析报告，在核设施经过调试达到满功率并经 12 个月试运行后，营运单位申请运行许可证时向国家核安全监管机构提交的技术文件。和最终安全分析报告相比，在修订的最终安全分析报告中，根据调试及实际运行情况，对有关数据进行了校正和确认。

（撰写：张　健　审订：任常平）

anquan gongneng

安全功能　safety function　核设施各系统在运行状态（包括预计运行事件）中、事故工况期间及事故工况后为保证安全所必须执行的功能。核设施的所有安全功能都是从下列三个总的设计安全要求（也称三项基本安全功能）导出的：(1) 必须提供安全停堆手段，使在运行状态中、事故工况期间及事故工况后的反应堆安全停堆，并保持在安全停闭状态；(2) 必须提供排出余热的手段，使停堆后（包括事故工况停堆后）能

从堆芯排出余热；(3) 必须提供减少放射性物质释放可能性的手段，并保证所释放的放射性在运行状态中低于规定限值，在事故工况期间低于可接受限值。轻水堆核电装置的安全功能条目为20项左右，按其重要性把它们分组，可以确定执行这些功能的设备的安全等级。

（撰写：俞尔俊　审订：陈叔平）

anquan guanli xitong

安全管理系统　safety management system　营运单位为管理安全以促进安全文化，达到良好的安全业绩而作出的组织安排。保证安全是营运单位的职责，为了依法承担起安全责任，营运单位必须建立一个有效的安全管理系统。这实质上是一种自我监管，这个系统应当按核安全法规的要求建立，其最终目的是保证核设施的安全，保护工作人员、公众和环境。安全管理系统的目标是：(1) 通过对安全有关活动在正常、瞬变、和应急状态下的计划、管理和监督去改进安全业绩；(2) 通过建立和推广个人和团队良好的安全态度和行为去培育和支持强大的安全文化以便使他们更安全地完成任务。营运单位的安全管理系统应当包括下列4个部分：(1) 确定安全要求和组织；(2) 计划、管理和支持；(3) 执行；(4) 监察、审查和反馈。

（撰写：董柏年　审订：张　健）

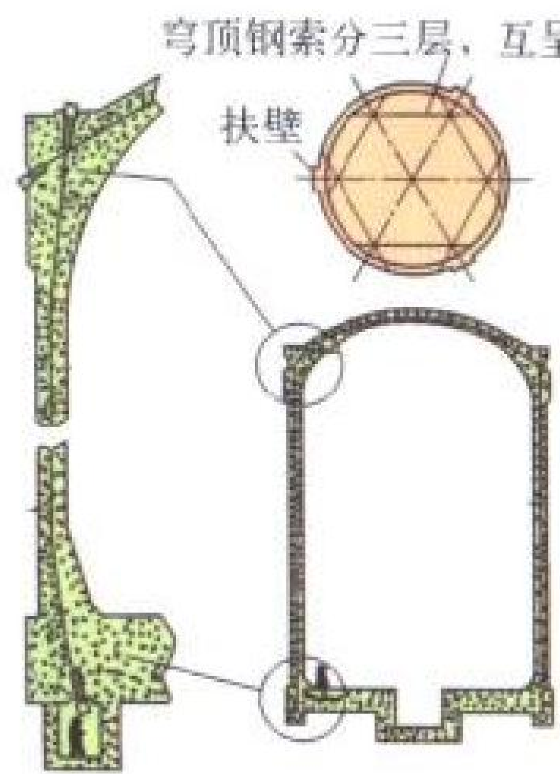
anquan pingjia

安全评价　safety assessment　对核安全重要事项的分析和论证，以判明是否满足核安全目标和要求，是否会对工作人员，公众和环境造成不适当的放射性危害。安全评价应该在工作层，营运单位和国家核安全监管机构等不同层次上进行。工作层和营运单位的评价包括内部的自我审评和外部的审评。独立的评价必须由外部的、有资格的、不承担被评价任务的人员或组织按规定的要求和程序完成，国家核安全机构监管性的审评则往往与核安全许可证的审批和监督密切相关。

（撰写：董柏年　审订：潘自强）

anquanqiao

安全壳　containment　防止在反应堆失水事故和严重事故下放射性物质向环境释放、并保护反应堆冷却剂压力边界和安全系统抗御外部事件（如台风、飞机坠落和飞射物撞击等）的构筑物。它主要包容反应堆冷却剂系统和一些重要的安全系统，是防止放射性物质外逸的最后一道安全屏障。它应能承受各种静态和动态载荷，包括在最大失水事故条件下由于冷却剂的喷放所造成的内压。安全壳可分为单层和双层两种。从建筑结构上又可分为钢制和混凝土制两类。目前核电厂采用最多的是带密封钢衬里的预应力混凝土安全壳。它有三种形式：第一种为圆筒形扁穹顶安全壳（见图）。第二种穹顶为半球形，省去环梁，穹顶预应力钢索与筒壁竖向钢索合二为一，呈倒U形，以改善安全壳结构的力学性能。第三种为双层安全壳，其内层通常为钢结构或预应力混凝土结构，承受事故压力；外层为钢筋混凝土结构，主要承受外部事件产生的载荷。两层间有一环形间隙，可保持一定负压，将从内层安全壳漏出的放射性气体经过滤后由排气烟囱排出。



预应力混凝土安全壳

（撰写：杜圣华　审订：张维忠）

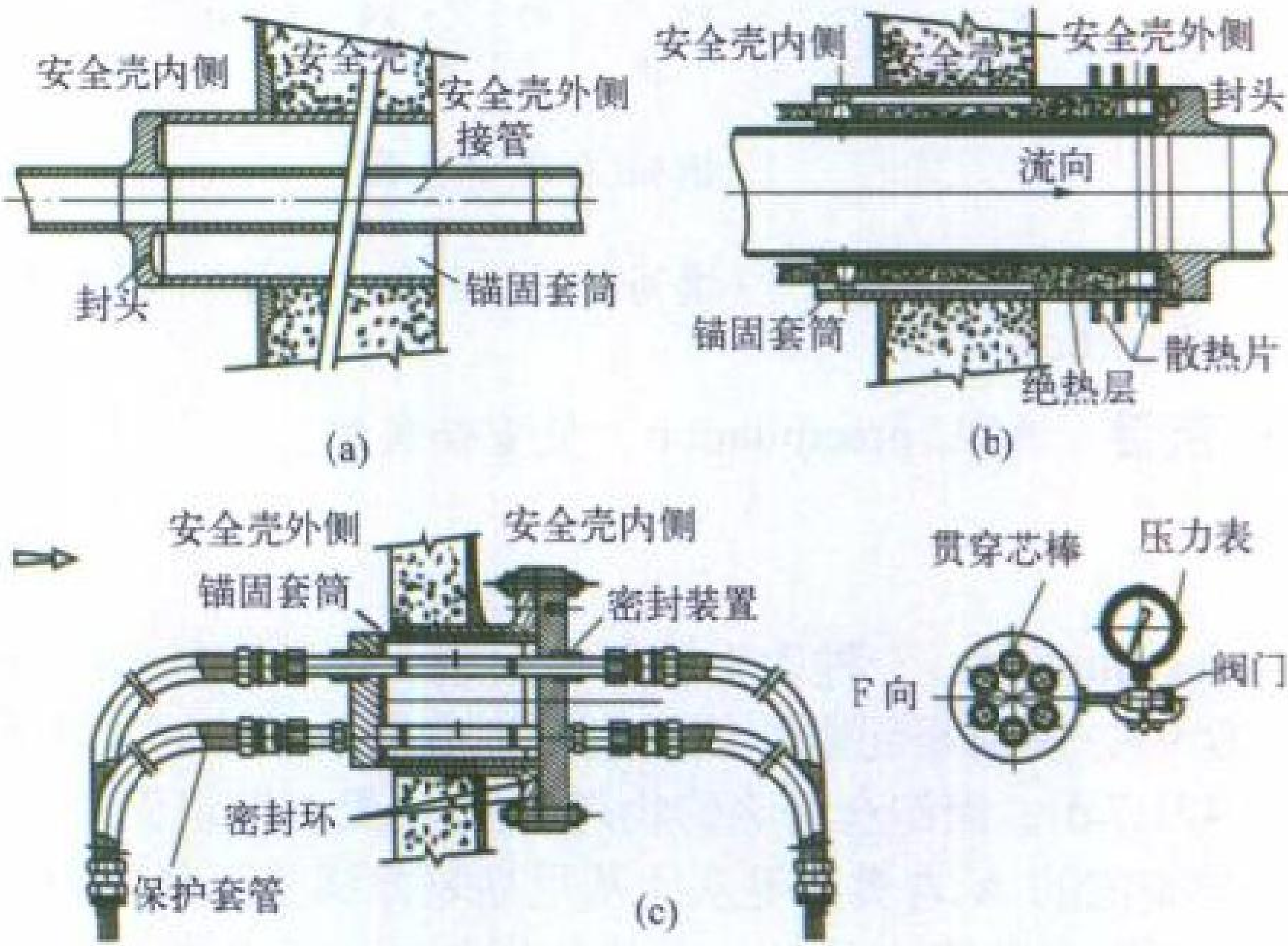
anquanqiao geli xitong

安全壳隔离系统　containment isolation system　将反应堆安全壳内各个系统向安全壳外一切可能的联系通道关闭的各种装置的总称。当反应堆冷却剂系统发生失水事故或主蒸汽管道发生破裂时，该系统将贯穿安全壳的工艺管道迅速隔离，阻止或限制放射性物质向环境释放。根据各工艺管道的具体情况，可选用不同的隔离装置。一般在安全壳的内、外两侧各设一个隔离阀，它们由不同通道的可靠电源供电。当接到安全壳隔离的信号后，隔离阀应在设定时间内自动关闭。

（撰写：戚正文　审订：张维忠）

anquanqiao guanchuanjian

安全壳贯穿件　containment penetration　为管道、电缆穿过安全壳而设置在安全壳壁上的穿墙连接部件。用于管道连接的称为机械贯穿件，用于电气连接的称为电气贯穿件。机械贯穿件的安全级别与安全壳钢衬里相同，一般由接管、封头及预埋在安全壳壁中的锚固套管组成，见图 (a)。在贯穿管路传送热流体的情况下，机械贯穿件还必须将混凝土的温度限制在一定范围以内（事故情况除外）。此时，机械贯穿件应有绝热层及散热片，见图(b)。电气贯穿件的安全级别为1E级，按电压分类有高压、中压、低压三种规格，按芯数分类有单芯、多芯等形式。多芯型电气贯穿件通常包括一个两端带法兰的筒体、若干个贯穿芯棒、相应的密封连接件、接线盒以及密封监测用的阀门和压力表，见图 (c)。贯穿芯棒由一根或多根密封在套管内的相互绝缘的导线构成，密封固定在筒体两端的法兰上，筒体则焊接在安全壳内预埋的锚固套管上，从而保证了安全壳的整体密封。（撰写：吴　明　审订：左　民）

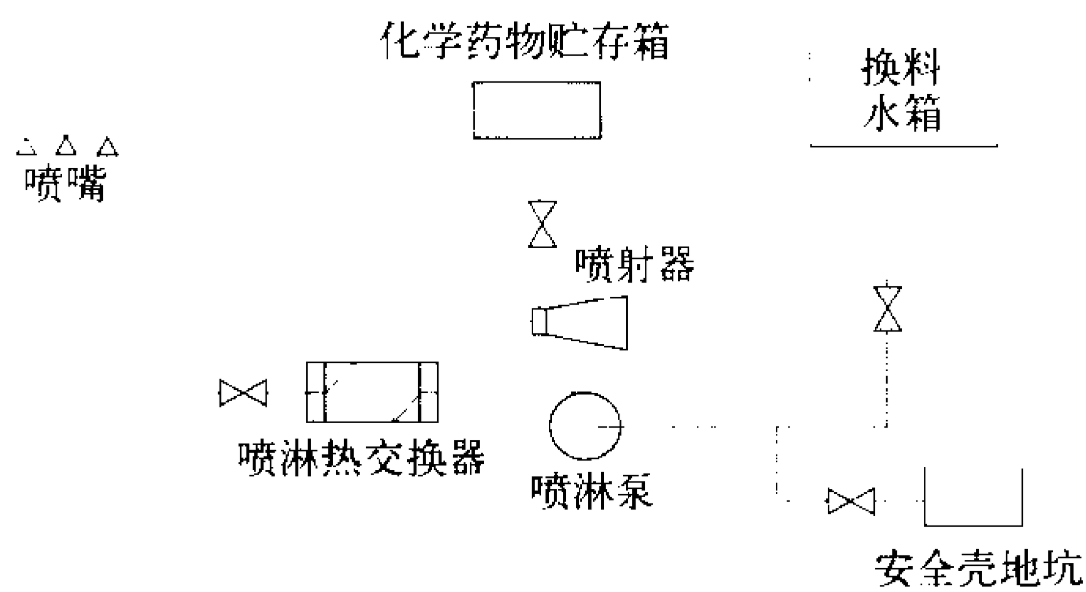


常用的安全壳电气贯穿件

anquanqiao penlin xitong

安全壳喷淋系统　containment spray system　在核电厂发生失水事故或安全壳内主蒸汽管道发生破裂时，为降低安全壳内的峰值压力和温度以防止安全壳超压失效而设置的系统。它通常由两个独立的、分隔的喷淋系列和一个共同的化学物添加回路组成，每个系列设置一台喷淋泵、一台喷淋热交换器和喷淋管网（见图）。安全壳喷淋流添加化学物的目的是加大元素碘在喷淋液滴中的可溶性，并提高喷淋溶液的 pH 值，以降低喷淋液对设备的腐蚀性。有的设计认为可取消化学物添

加或仅需在安全壳地坑内加入适当的化学添加物。

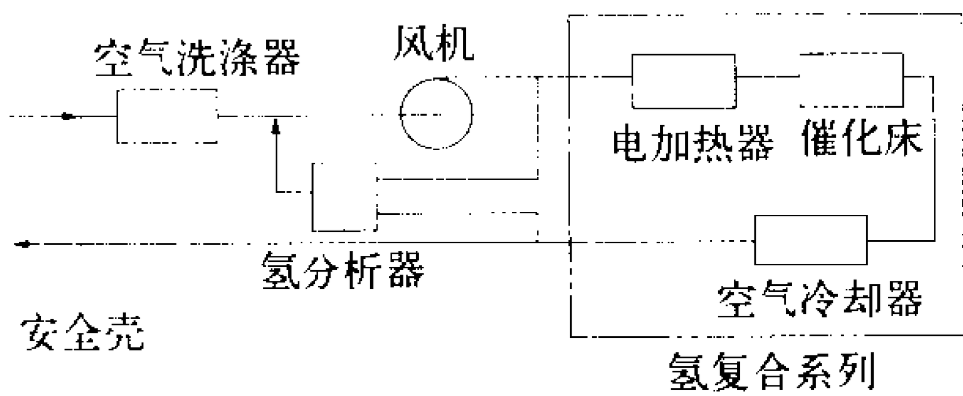


安全壳喷淋系统喷淋系列示意图

(撰写：戚正文　审订：张维忠)

anquanqiao qing fuhe xitong

安全壳氢复合系统 containment hydrogen recombination system　又称安全壳消氢系统。反应堆失水事故后控制安全壳内大气中氢浓度的系统。其主要功能是使氢浓度不超过最低可燃极限(4.1%体积浓度)，以防止发生氢爆。本系统通常由两个独立的、分隔的安全壳氢复合系列和一台共用的氢分析器组成（见图）。安全壳内的氢气一般来源于失水事故时的锆水反应、金属材料腐蚀以及堆芯水的辐照分解。失水事故后，当安全壳内空气中氢气的体积浓度达到约 1.5% 时，本系统投入运行。空气经空气洗涤器洗涤后被加热，然后进入钯催化床，使氢和氧复合成水蒸气，再经空气冷却器冷却后返回安全壳内。



安全壳氢复合系统示意图

(撰写：戚正文　审订：张维忠)

anquanqiao renyuan zhamen

安全壳人员闸门 personnel airlock of containment　在反应堆投运后供工作人员和小型设备进出安全壳的通道。人员闸门有单筒体和双筒体两种形式，后一种形式的外筒在人员闸门整体安装前预埋在安全壳壁内，内、外筒之间填塞屏蔽材料。单筒体人员闸门为贯穿安全壳的筒状设备，筒体与安全壳钢衬里焊接，筒体两端各装有一个带双道密封环的承压门，由一套可以电动或手动操作的机械传动装置执行门的开、闭、锁止以及联锁。当电源发生故障时，可以用手动操作。但电动操作时不能手动，手动操作时也不能电动。此外，还有两套联锁装置：一套机械联锁；另一套电气联锁，以保证内、外两个密封门不能在同一时间同时打开，从而保证安全壳内、外部的隔离(参见空气闸门)。(撰写：吴明　审订：左民)

anquanqiao shebei zhamen

安全壳设备闸门 equipment hatch of containment　反应堆重型设备进出安全壳的通道。它由一个内侧带法兰的贯穿安全壳并与安全壳钢衬里焊接的筒体、封头、封头开启装置及外侧的辐射屏蔽门组成。在反应堆运行期间，封头压紧在安全壳内侧的法兰上。为保证安全壳整体的完整性和密封性，法兰由两道同心的密封件密封，两道密封件之间的空间可通过管道送入压缩空气，以检查其密封性。在停堆检修期间，由开启装置打开封头。设备闸门通道尺寸按照需通过的最大设备确定。对于压水堆核电厂，最大的设备通常是反应堆压力容器、蒸汽发生器或需直立通过的乏燃料运输容器，容器用平板车运送，故平板车尺寸亦需考虑在内。

(撰写：吴明　审订：左民)

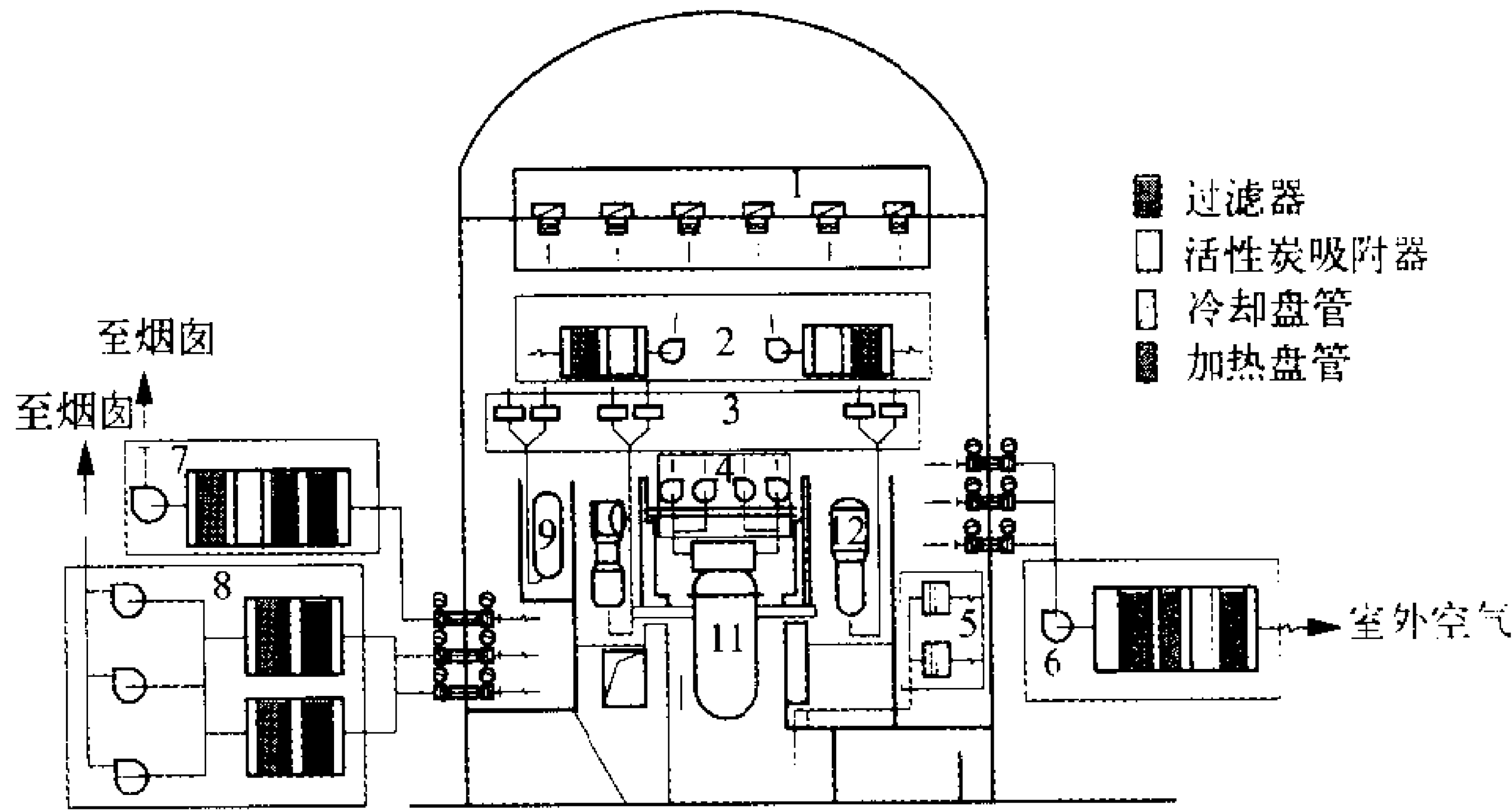
anquanqiao shixiao moshi

安全壳失效模式 containment failure modes　安全壳包容物向环境的释放率显著大于其设计泄漏率,形成放射性物质不可控释放的严重事故的机理与方式。对导致严重事故的重要序列进行研究，分析其达到安全壳失效模式的可能性，可以估价核安全设施的风险，便于进一步考虑改进设计和事故处理措施。安全壳失效模式是在美国“反应堆安全研究报告(WASH-1400)”中首先提出的，后为核安全分析中沿用。大型干式安全壳有七种失效模式，它们是：(1)蒸汽爆炸，破坏安全壳；(2)事故前安全壳开口(贯穿件隔离失效)；(3)氢气爆炸，破坏安全壳；(4)水蒸气积累引起的早期超压破裂；(5)水蒸气和不可凝气体积累引起的晚期超压破裂；(6)底板烧蚀与熔穿；(7)安全壳旁路（一回路主管道与余热排出系统接合部失水事故或蒸汽发生器传热管破裂事故)。

(撰写：俞尔俊　审订：陈叔平)

anquanqiao tongfeng he jinghua xitong

安全壳通风和净化系统 containment ventilation and purge system　冷却和净化安全壳内空气的系统。其主要功能是为安全壳内的设备和人员进入安全壳创造所需的环境条件。反应堆运行期间，由于反应堆冷却剂系统及其辅助系统的散热，安全壳内的空气温度不断上升，同时，由于反应堆冷却剂系统的泄漏，安全壳内空气中含有放射性物质。安全壳通风和净化系统的任务就是排出安全壳中空气的热量及去除其中的放射性物质。压水堆核电厂的安全壳通风净化系统有安全壳冷却系统、循环过滤系统、设备房间冷却系统及清洗通风系统等(见图)。



安全壳通风和净化系统示意图

1—安全壳空气冷却系统；2—安全壳循环过滤系统；
3—设备房间冷却系统；4—控制棒驱动机构冷却系统；
5—堆腔冷却系统；6—安全壳清洗进风系统；
7—安全壳清洗排风小风量系统；8—安全壳清洗排风大风量系统；
9—稳压器；10—主泵；11—反应堆；12—蒸汽发生器

(撰写：戚正文　审订：张维忠)

anquan sanyuanze

安全三原则 three principles of safety　所有工业活动均包含某种危害。虽然不同的工业和工艺技术的危险差异很大，但均应遵循下述三原则：(1)正当性：危害评价是工业活动决策过程的一部分，应十分仔细地权衡从活动带来的可能利益

和与此相关的可能危害。对于新的工业活动，这一点更为重要。只有当判断利益大于危害时，活动才是正当的。现在已经广泛地认识到：这里所说的危害是与整个寿命循环相关的危害，即从建造（包括原材料）到运行、退役和废物处置。这一原则不仅包括现在的危害与利益的地域和社会的分布，而且只要有可能还要考虑更长时间的效应和可持续发展问题。现在的工业活动不应对后代带来过分的负担，对后代产生的危害不应大于现代可接受的危害。(2) 最优化：一旦正当性成立，则在考虑经济和社会因素之后，在所有时间内使危害保持在可以合理做到的尽量低的程度。这是在实践中控制危害的主要方法。(3) 个人危害限值：由于工业活动的结果没有个人受到不可接受水平的照射。为了满足这一原则预先制定限值和条件，在超过这些限值和条件时，活动是不可接受的。

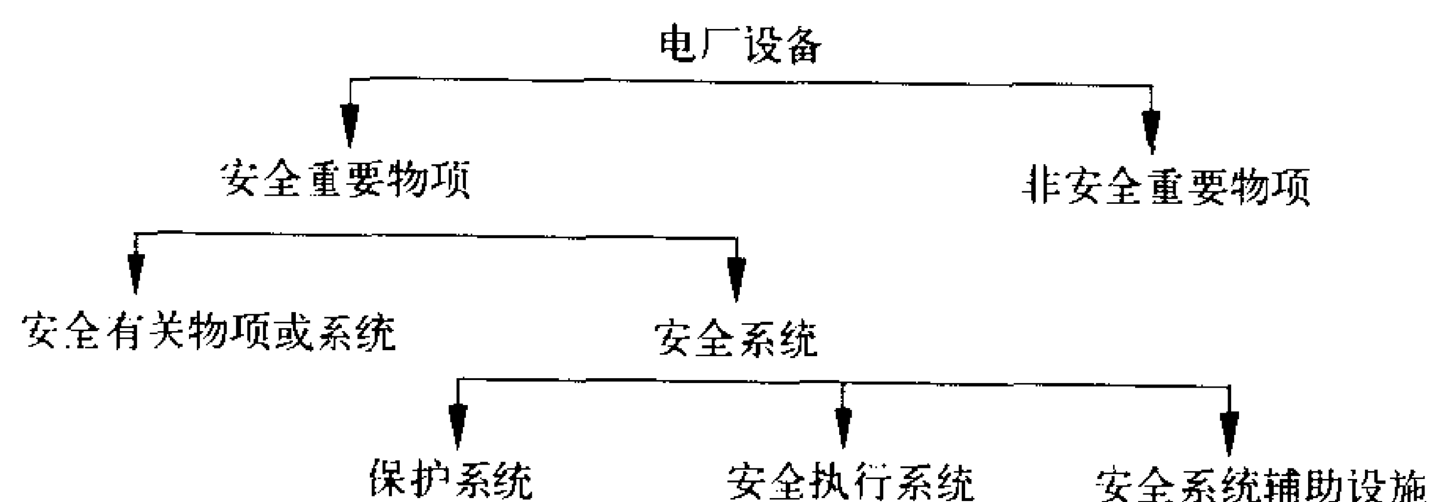
（撰写：潘自强）

anquan wenhua

安全文化 safety culture 又称安全素养。在组织和工作人员中建立把安全问题根据其重要性得到最高优先关注的特征和态度的集合。安全文化有两个要素：第一是在组织中的管理系统或者安全框架；第二是响应并得益于此系统的，所有各层次的人员的态度。安全文化的形成始于所在组织高层管理的方法和态度。管理者不仅要保证他们的工作人员明白自己职责的重要性，以及不断提高个人业绩水平，而且充分认识自己对安全的职责。组织中的每一个成员，要有高度的责任心和奉献精神，坚持实事求是，有严格、谨慎、不盲从，敢于和善于发现和提出问题，正确对待工作中的差错、能自由坦率交流、永不自满，争取创造更优秀的成绩的工作态度。安全文化对所有从事有潜在风险的活动都是必要的，对核设施和核活动尤为重要。安全文化必须从每个国家、社会、地区和组织现有的文化中产生，并必须成为上述文化的一个组成部分。管理者和工作人员必须尊重现有的文化，在此基础上创设自己的安全文化。（撰写：董柏年 审订：潘自强）

anquan xitong

安全系统 safety systems 核设施内在预计运行事件及事故工况下发挥安全功能，保证反应堆安全停堆、从堆芯排出余热或限制放射性后果的系统。安全系统包括保护系统、安全执行系统和安全系统辅助设施（见图）。安全系统的部件可



安全系统示意图

以专用于执行安全功能，也可在某些状态下执行安全功能而在另一些状态下执行非安全功能。保护系统为由各种电器件、机械器件和线路（从传感器到执行机构的输入端）组成的产生与保护功能相联系的信号系统。安全执行系统为由保护系统触发用以完成必需安全动作的设备组合，如应急堆芯冷却系统、应急给水系统及安全壳喷淋系统等。安全系统辅助设施是为保护系统和安全执行系统提供所需的冷却、润滑和能源等服务的设备组合，如安全电源（由冗余的柴油发电机供电）、设备冷却水系统和厂用水系统等。安全系统为安全重要物项的一部分。安全重要物项还有另一部分，称安全有关物项或系统，如一回路压力边界及安全壳厂房等。

（撰写：俞尔俊 审订：陈叔平）

anquan xianzhi

安全限值 safety limits 运行过程变量（如功率、温度、压力、放射性物质排放等）的各种限值，在这些限值范围内已证明核设施和核活动的运行是可以保证安全的。

（撰写：董柏年 审订：潘自强）

anquan yanzheng

安全验证 safety verification 通过分析，监视、测试和检查等方法证实核设施，核活动或其安全重要事项的状态符合安全要求，其运行可持续符合许可限值和条件。一个核设施在其寿期内的安全验证包括：(1) 设计；(2) 厂址有关因素；(3) 建造和调试；(4) 质量保证大纲及其有效性；(5) 运行程序和测试结果等。（撰写：董柏年 审订：潘自强）

anquan youxian

安全优先 priority to safety 一切从事核安全重要活动的组织都必须贯彻的，把核安全事务放在其应有的优先地位的政策。国际核安全公约规定："每一缔约方必须采取适当的步骤，确保从事与核设施直接有关活动的一切组织为核安全制定应有的优先政策。"中国政府从核电建设发展之初，就提出了"安全第一"的方针。中国核设施在选址、设计、建造、调试和运行中都认真贯彻"安全第一"的方针。当安全问题与其他问题发生矛盾时，首先要求确保服从安全的需要。

（撰写：董柏年 审订：潘自强）

anquan zhengce shengming

安全政策声明 statement of safety policy 一个组织向国家核安全监管机构及全体员工表明其履行核安全责任和承诺的书面文件。核设施营运单位必须制定一个明确的核安全政策、表明它遵守核安全法规、承担安全责任、履行其承诺、并必须建立一个有效的管理体系、配备必要的资源、制定必要的措施，以保证承诺的实现。（撰写：董柏年 审订：张 健）

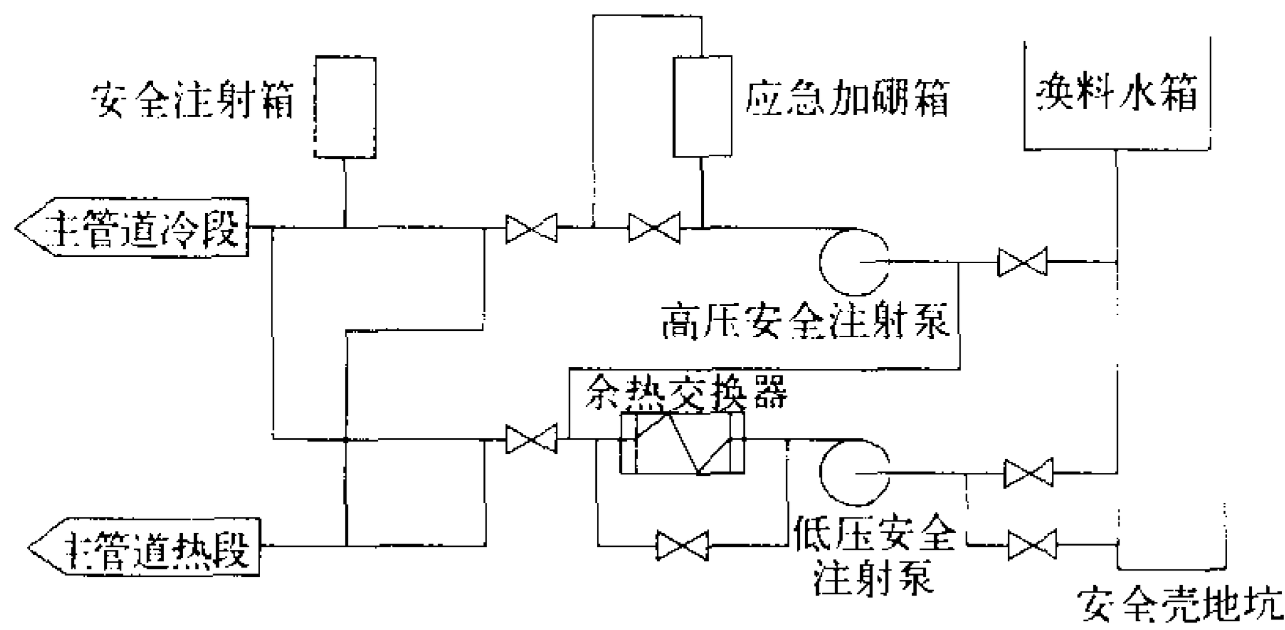
anquan zhushe beng

安全注射泵 safety injection pump 简称安注泵。在反应堆失水事故下向反应堆注水以保证堆芯冷却的泵。压水堆核电厂的安注泵分为高压安注泵和低压安注泵，前者主要用于中、小破口的失水事故，后者用于大破口失水事故下的硼水注射和地坑水的再循环。高压安注泵为多级离心泵。有的压水堆核电厂高压安注泵又用作上充泵。低压安注泵为单级离心泵，大多数压水堆核电厂的低压安注泵又用作余热排出泵。安全注射泵是核电厂安全系统的重要设备，它必须满足单一故障准则，其驱动电机由核电厂的应急柴油发电机组供电。

（撰写：张维忠 审订：杜圣华）

anquan zhushe xitong

安全注射系统 safety injection system 又称应急堆芯冷却系统。反应堆失水事故导致堆芯失去冷却后将水应急注入反应堆以持续排出堆芯余热的系统。压水堆核电厂的安全注射系统通常由安全注射箱、高压安全注射和低压安全注射三个



安全注射系统示意图

分系统组成（见图）。安全注射箱分系统是非能动式注射系统，利用箱内氮气压力将硼水注入反应堆。高压安全注射分系统和低压安全注射分系统均为能动注射系统，利用高压安全注射泵和低压安全注射泵（通常也用作余热排出泵）将硼水注入反应堆。当换料水箱内的含硼水将用尽时，安全注射泵转入再循环运行工况，从安全壳地坑汲水，经余热交换器冷却后再注入堆芯，以维持堆芯的长期持续冷却。

（撰写：戚正文　审订：张维忠）

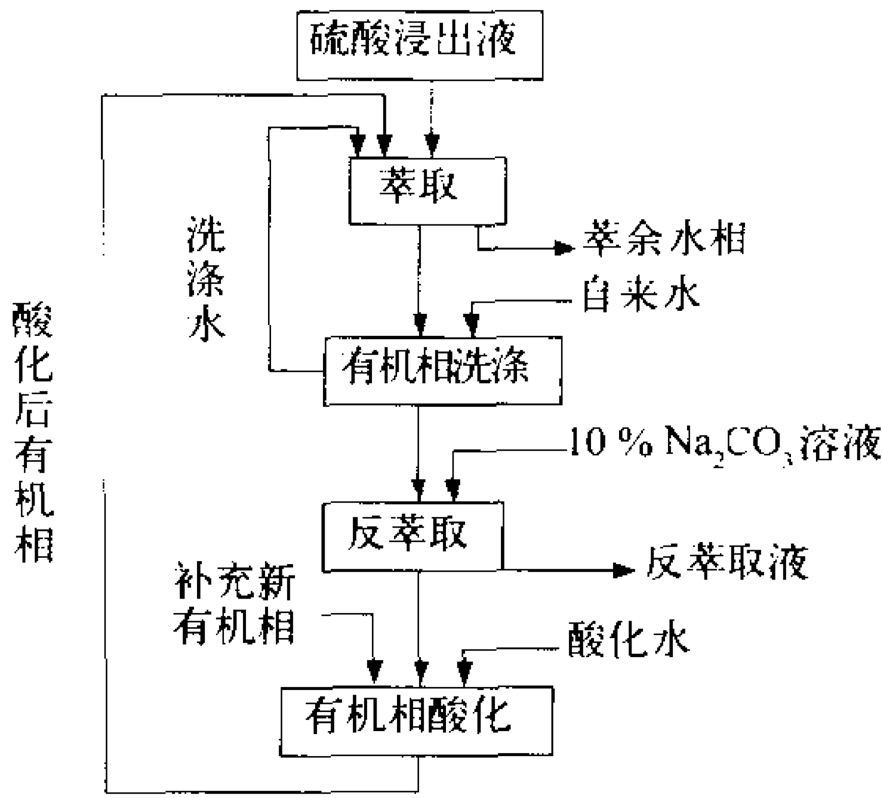
anquan zuhe

安全组合　safety equipment group　在特定的假设始发事件发生后，为使该事件后果不超过安全容许限值而要求其必须实现应有功能的那种设备组合。例如压水堆核电厂大破口失水事故发生后必须要有低压安注系统发挥作用，该系统就是一个安全组合；小破口失水事故发生后必须要有高压安注系统发挥作用，该系统就是一个安全组合；在很多事故工况下，必须要有两台柴油发电机构成的设备联合发挥作用，这两台柴油发电机也就构成一个安全组合。安全组合必须满足单一故障准则，即各安全组合在发生单一故障时仍能实现其安全功能。采用依次检查各安全组合是否满足单一故障准则的方法，可方便地分析整个核设施是否具有合适的冗余度。

（撰写：俞尔俊　审订：陈叔平）

anlei cuiqufa

胺类萃取法　amine extraction process　用胺作萃取剂，从水溶液中分离提取金属的方法。胺可以是伯、仲、叔胺或季胺盐，都是碱性萃取剂，以季胺盐的碱性最强。胺类萃取属阴离子交换机理，胺首先与水溶液中的无机盐形成酸，然后与水溶液中待分离金属的阴离子或络阴离子进行交换，生成金属离子与胺的萃合物，萃合物进入有机相而把杂质离子留在萃余水相中。萃取金属之后的有机相经洗涤反萃取，使待分离金属浓集在反萃取液中，继而进行沉淀、结晶、电积等作业得到纯净产品。用三脂肪胺从硫酸浸出液中萃取铀是胺类萃取法的典型应用，国外称为 Amex 法（见图）。

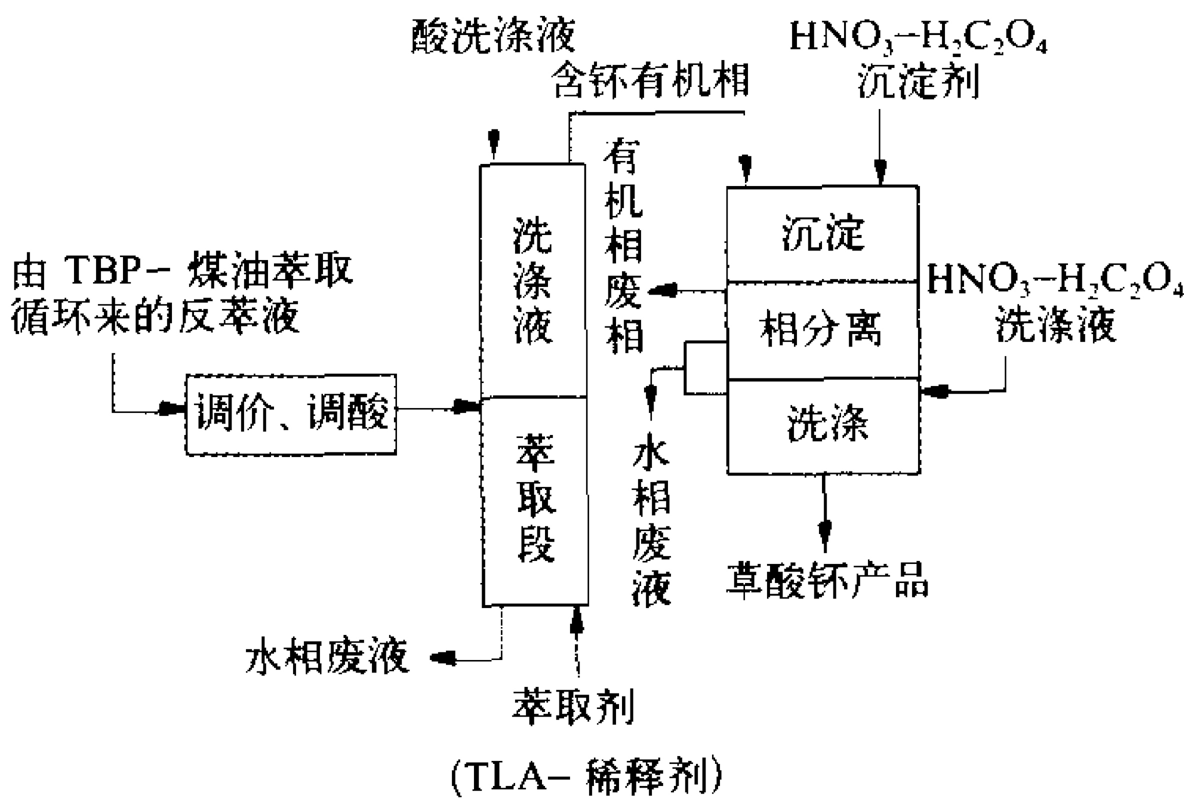


三脂肪胺萃取铀的工艺流程图

（撰写：程光荣　审订：牛玉清）

anlei cuiqufa chunhua bu

胺类萃取法纯化钚　plutonium purification by amine extraction process　用有机胺类化合物作萃取剂从含钚溶液中萃取纯化钚的过程。由于胺类萃取剂耐辐照性强，对 Pu（Ⅳ）有较高的选择萃取，故可用于磷酸三丁酯／煤油萃取循环后的钚的最终纯化。已建立了叔胺和季胺萃取流程，并在生产规模上采用了三月桂胺（TLA，叔胺类）萃取剂（见图）。经胺萃纯化后的钚产品，其纯度、γ 放射性强度及钚总收率都能达到规定的要求。季胺萃取剂对 Pu（Ⅳ）有更高的选择性，但它在核工业常用的稀释剂中的溶解度有限，使用受到限制。



三月桂胺最终纯化钚的流程示意图

（撰写：张琴芬　审订：朱永赌）

AUC chendian

AUC 沉淀　AUC precipitation　见三碳酸铀酰铵。



B xing huobao

B型货包 type B package 装有放射性活度可以超过A_1的特殊形式放射性物质或超过A_2的非特殊形式放射性物质的包装、罐或货物集装箱。只须单方批准的货包为B (U) 型货包，须多方批准的货包为B (M) 型货包。B型货包应按批准书所规定，不得装有：超过货包设计书所容许的放射性活度；不同于货包设计书所容许的放射性核素和在形态或物理化学状态上不同于货包设计书所容许的内容物。如若空运，B型货包装有的放射性活度不得超过以下数值：对于低弥散性放射性物质，按货包设计书所批准的规定值；对于特殊形式放射性物质，小于3000 A_1或100000 A_2值；对一切其他放射性物质，为3000 A_2值(参见放射性核素基本值A_1和A_2)。

（撰写：董柳灿　审订：赵亚民）

BaF_2 shanshuoti

BaF_2闪烁体 BaF_2 scintillator 一种由氟化钡纯晶体组成的闪烁体。BaF_2晶体作为闪烁体来说，其最重要的特征是兼有无机闪烁体对γ射线的高探测效率，输出脉冲幅度谱线中有光电峰；及有机闪烁体的快时间特性。主要用于核医学中正电子湮没技术与高能物理中。它的一般特性见表。

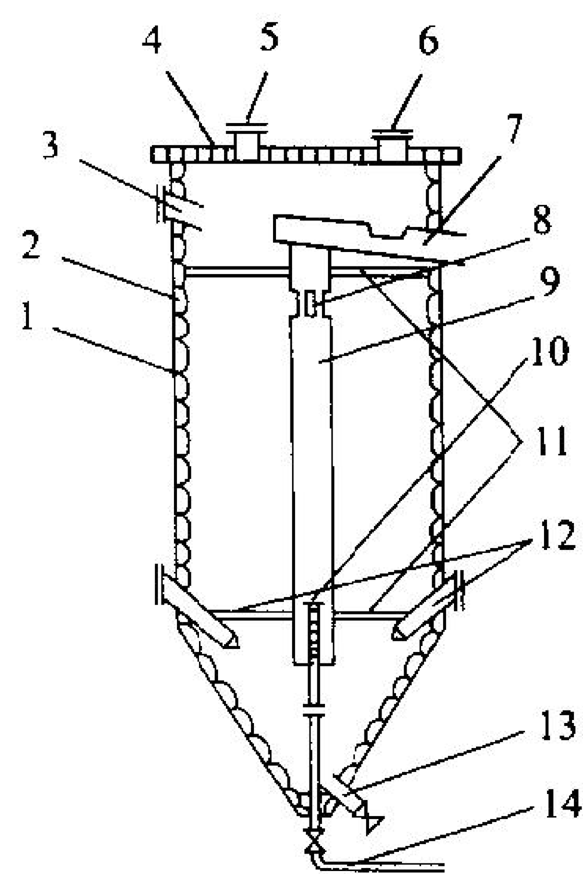
BaF_2闪烁体的一般特性表

密度 /(g/cm³)		4.88
熔点 /℃		1354
发射带 /nm	快成分	225
	慢成分	310
闪烁衰减时间 /ns	快成分	0.6～0.8
	慢成分	620
相对于NaI (Tl) 的光输出 /%	快成分	4
	慢成分	20
折射率(225 nm)		1.65

（撰写：汲长松　审订：彭华寿）

baqiukecao

巴秋克槽 pachuca tank 又称空气搅拌槽。用压缩空气作搅拌动力使物料均匀混合的圆锥底筒形设备。广泛用于铀矿石浸出作业。巴秋克槽(见图)内设中央循环筒，起导流作用；压缩空气通过喷射管从循环筒下端进入。主要类型有溢流型、提升型和气升型等。压缩空气从底部进入槽内，并迅速分散成大量气泡与矿浆混合。此时混合物相对密度较矿浆小，压缩空气上升时将一部分能量传递给矿浆，使这部分矿浆上升，而周围矿浆则不断补充，结果形成矿浆自槽周围而下沿循环筒而上的对流循环，使槽内物料得到良好搅拌。它的优点是结构比较简单，无转动部件；选型灵活；搅拌强度易调节；设备易放大等。其缺点是需要配备压缩空气系统、动力消耗较大；热能损失较多。



巴秋克槽示意图

（撰写：夏润身　审订：赵锡熊）

ba

靶 target 在核反应堆或加速器中，经中子流或带电粒子束辐照而产生某种特定放射性核素的原料。核反应堆用靶常为固体靶，但也有少量液体靶和气体靶。一般要求靶料易于获得，杂质含量尽量少，热稳定性和耐辐照性能均好，生成物(目标放射性核素)易于分离纯化，产额高。作为加速器用靶，除应满足核反应堆靶提出的一般要求外，还应考虑加速粒子的能量、束流强度和靶的冷却系统等辐照条件。加速器用靶，根据辐照位置不同有内靶与外靶之分：内靶是将靶置于加速器真空箱内，直接接受粒子束流辐照；而外靶则置于真空箱外受偏转粒子束流辐照。两者各有优缺点，内靶束流强、发热量大、冷却条件苛刻；外靶束流弱，但操作简易。通常，放射性核素制备大多采用内靶。此外，靶还可按照厚度不同分成厚靶(入射粒子动能损失较大)与薄靶(入射粒子动能损失较小)。放射性核素制备过程一般都采用厚靶；而在核反应研究中，为保证入射粒子束在靶各处动能均相同，多采用薄靶。广义上有时也将靶材料及相关装置纳入靶的概念之中。

（撰写：吕延晓　审订：蔡善钰）

ba 'en

靶恩 barn 见核反应截面。

bahuaxue

靶化学 target chemistry 有关靶的性质和制备的化学。放射性核素通常可以通过核反应来合成，被轰击的对象称为靶。为了得到高比活度和高放射性化学纯度的产品，靶物质要求满足以下的条件：(1)必须是很纯的；(2)靶元素的含量越高越好。因此用单质或纯金属是较好的。如果采用靶元素的化合物时，则希望该化合物中非靶元素的活化截面越小越好，而靶核素含量越高越好；(3)有较好的辐射稳定性和热稳定；(4)在核反应后容易进行化学处理和分离；(5)易于获得且价廉。照射后靶物质要经化学处理，将放射性元素分离、纯化，除去活性或非活性杂质，并制成适用的化合物形式。常用的分离方法有：溶剂萃取、离子交换、反冲、载带沉淀、蒸馏、浸取、及电化学方法等。

（撰写：罗文宗　审订：崔安智）

banqian youkuang

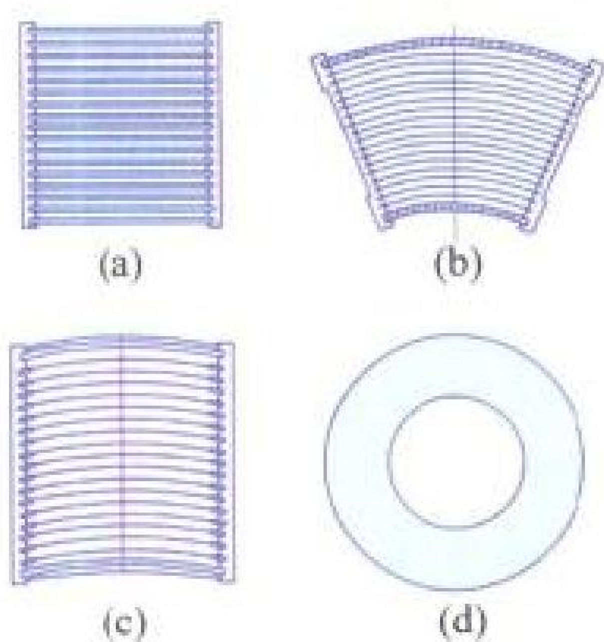
板铅铀矿 curite 含水的铅铀酰氢氧化物，化学式为 $Pb_3[(UO_2)_8O_6(OH)_{10}]\cdot nH_2O$。(见图) 该矿物发现于扎伊尔申戈洛布维铀矿床，属斜方晶系，晶体呈柱状或针状。集合体呈致密块状、土状或放射状。颜色为橙红色到红褐色，金刚光泽。解理沿{100}发育，性脆。硬度4~5，相对密度7~7.4。在紫外光照射下不发荧光。二轴晶负光性。折光率：N_p = 2.05~2.06，N_m = 2.07~2.11，N_g = 2.12~2.15。色散强 $r > v$,光轴角2V大。平行消光。板铅铀矿是表生的铀矿物，与柱铀矿、硅铅铀矿、硅铀矿等共生。 (撰写：赵凤民 审订：胡绍康)



环带状板铅铀矿

banzhuang ranliao zujian

板状燃料组件 plate type fuel assembly 由若干块燃料板、侧板、组件插头、抓取部件等组成的燃料组件。燃料板有平板型、弧板型和渐开线型等(见图)。燃料板由弥散型燃料芯体、上下盖板和框架(铝合金或锆合金)经焊接、热轧、冷轧工艺而成。燃料板经滚压或焊接固定在侧板上。常用的弥散型燃料有 UAl_4-Al 或 U_3O_8-Al 或 U_3Si_2-Al。由于燃料板的单位体积功率输出较高，因此它适用于要求堆芯体积小、功率密度高的研究堆和试验堆。 (撰写：康亚伦 审订：黄玉才)



板状燃料组件的几种形式
(a)—平板型；(b)、(c)—弧板型；
(d)—渐开线型

bandaoti qijian kangfushe xingneng shaixuan

半导体器件抗辐射性能筛选 the screening of semiconductor devices on radiation-resistant performance 挑选抗辐射性能好的器件，淘汰抗辐射性能差的器件。有两种比较成熟的筛选方法：一种是"辐射—退火"筛选法，偏重于实验；一种是借助于统计方法的电参数筛选法，偏重于分析计算。"辐射—退火"筛选法是把用于中子和电离辐射环境的器件，先进行中子和γ射线预照射，经测试后，挑出对辐射特别敏感的器件，剩余的器件经高温退火，使之恢复到辐射前的特性。电参数筛选法一般是对半导体器件的辐射效应进行深入的物理分析，挑选出特别灵敏的辐射效应参数和影响较大的参数，然后对挑选出的参数进行精确的测量，随机抽取样品进行辐照试验，借助于数学工具分析、计算辐射效应参数与辐照前测量参数的关系，得到一个多元线性函数，分析比较试验结果和计算结果，如果它们相一致，就可以通过参数的测量直接筛选器件。目前对于筛选法，不同的国家和不同的学者有不同的看法。 (撰写：倪建平 审订：赖祖武)

bandaoti tanceqi

半导体探测器 semiconductor detector 又称固体电离室。用半导体材料制成的辐射探测器。它是一种特殊的半导体二极管。加在二极管上的反向电压产生耗尽区(即灵敏区)，并在灵敏区中产生较强的电场，射线进入探测器灵敏区，产生电子—空穴对，灵敏区上的电场使这些电子空穴对迅速分离，并分别被两电极收集，从而产生正比于入射粒子在耗尽区内损耗能量的电脉冲信号。从结构上看，半导体探测器有晶体电导型、PN结型、PIN结型等几种；按PN结的制备工艺，探测器又可分为面垒型、扩散结型、离子注入型等。半导体探测器可用来探测带电粒子、X及γ射线及中子等。制造探测器的材料有硅、锗及化合物半导体等。半导体探测器具有很好的能量分辨率、宽的能量线性范围、快的脉冲上升时间以及体积小等优点，在精密能谱测量方面明显优于气体电离探测器和闪烁计数器，但缺点是耐辐照损伤能力较差、性能对环境温度变化较灵敏，以及有些半导体探测器须在低温下使用或保存。 (撰写：吴绍云 审订：王征华)

bandaoti tanceqi de dianhe shouji shijian

半导体探测器的电荷收集时间 charge collection time of semiconductor detector 电荷载流子(电子和空穴)由探测器灵敏区内的产生点达到收集电极所需的时间。通常用这些电荷形成的积分电流从其最大值的10%上升至90%所需时间来表示，它是半导体探测器的一个重要时间参数，直接影响探测器的时间分辨的好坏，探测器的输出脉冲上升时间与电荷收集时间有密切的关系，而最大电荷收集时间取决于载流子的漂移速度、探测器的电场强度及环境温度。 (撰写：吴绍云 审订：王征华)

bandaoti tanceqi de jiedianrong

半导体探测器的结电容 junction capacitance of semiconductor detector PN结的结电容就是探测器的结电容。反向偏压下工作的探测器，其耗尽区厚度是随偏压的增加而增大，从而结区的空间电荷量也要发生变化，这种电荷随外加偏压的变化，反映出探测器的结区具有一定的电容。对于标准平面型探测器其结电容可用下式计算

$$C_D = \frac{A\varepsilon}{4\pi W}$$

式中 C_D 为结电容(pF)；A 是探测器的灵敏面积(cm^2)；ε 是半导体的相对介电常数；W 是探测器的耗尽宽度(cm)。探测器的结电容的大小对探测器可能达到的最佳分辨率有直接的影响。结电容越大，探测器的输出脉冲幅度越小，信噪比也越低，由结电容引起的单能峰的展宽与该电容量成正比，因此，结电容是半导体探测器的重要参数之一，在实际应用中总希望结电容小一些。 (撰写：吴绍云 审订：王征华)

bandaoti tanceqi de lingminqu houdu

半导体探测器的灵敏区厚度 sensitive layer thickness of semiconductor detector 半导体探测器的耗尽区是射线与物质相互作用产生电子—空穴对的地方，耗尽区存在强电场就是探测器灵敏区，其厚度就是灵敏区厚度。平面型PN结探测器的灵敏区厚度是与半导体晶体的电阻率和外加偏压的平方根成正比。对硅探测器，这种关系可表示为

$$d_N \approx 0.5\left(\rho_N V\right)^{0.5}$$

$$d_P \approx 0.3\left(\rho_P V\right)^{0.5}$$

式中 d_N 和 d_P 分别为N和P型硅探测器的耗尽区厚度(μm)；ρ_N 和 ρ_P 分别为N和P型硅晶体的电阻率(Ω·cm)；V 为探

测器的外加偏压。外加偏压越高，耗尽区厚度越厚，但当外加偏压超过全耗尽电压时，耗尽区厚度不变。

（撰写：吴绍云　审订：王征华）

B

bandaoti tanceqi de loudianliu

半导体探测器的漏电流　leakage current of semiconductor detector　无射线照射时，半导体探测器的反向电流。漏电流主要有三项来源：体电流、扩散电流及表面漏电流。在耗尽区内产生的体电流，它与耗尽区体积、半导体晶体的本征载流子浓度成正比，由于本征载流子浓度随温度增高成指数增大，因此，降低温度对改善探测器性能十分有利。扩散电流是由少数载流子扩散进入耗尽区后产生的电流。它在探测器漏电流中远比其他两种电流小。表面漏电流是探测器漏电流的主体，它远比其他两种电流大。它主要取决于半导体探测器的表面状况，简单地可以归为两种主要贡献：(1) 在半导体晶体表面形成的导电层，这种贡献是正比于探测器的偏压；(2) 是由于在晶体表面上产生的载流子引起的。探测器漏电流的大小直接决定了探测器的噪声水平和影响到探测器的能量分辨率。　（撰写：吴绍云　审订：王征华）

bandaoti tanceqi de nengliang fenbianlü

半导体探测器的能量分辨率　energy resolution of semiconductor detector　半导体探测器对不同能量的射线的识别本领。它一般用单能入射粒子脉冲幅度分布曲线的半高度处的全宽度（简称半高宽，用 FWHM 表示，单位 keV）表示。影响探测器能量分辨率的主要因素有：(1) 信号电荷（电子—空穴对）产生的涨落 Δ_S，表征这种涨落是采用法诺因子 F。$\Delta_S^2 = 8\ln 2\omega F E_\gamma$（这又叫探测器的固有能量分辨）。(2) 电荷收集的涨落（电荷收集不完全）Δ_C。它与探测器晶体的完整性、探测器结构、电场强度有关。$\Delta_C = g(1-\eta)E_\gamma$。(3) 电子学系统噪声（探测器漏电流和电容的贡献、主放大器的噪声）Δ_E。半导体探测器系统的能量分辨率为：

$$(\mathrm{FWHM})^2=\Delta_E^2+\Delta_S^2+\Delta_C^2=\Delta_E^2+8\ln 2F\omega E_\gamma+\left[g(1-\eta)E_\gamma\right]$$

式中　ω 为电子—空穴对产生能；E_γ 是入射射线的能量；η 为探测器的电荷收集效率；g 是几何因子（≤ 1）。

（撰写：吴绍云　审订：王征华）

bandaoti tanceqi de siceng

半导体探测器的死层　dead layer of semiconductor detector　又叫探测器的窗厚。在探测器入射面上的一个不灵敏薄层，在这个层内，入射粒子损失的能量对形成输出电脉冲信号没有贡献。金硅面垒型探测器的死层很薄，一般约 10～20 nm；离子注入型探测器的死层也可做得很薄，硅探测器约 0.2～0.3 μm，对高纯锗探测器约为 0.3～0.4 μm; 扩散结型探测器的死层比扩散层的厚度稍薄些，一般为 0.5～2 μm。对多数应用场合，探测器的死层对射线的探测效果影响不大，但在某些情况下，探测器死层对低能X射线的探测影响探测效率，而对带电粒子则会损害能量分辨率，在进行高精度测量中，死层的影响就不容忽视。　（撰写：吴绍云　审订：王征华）

bandaoti tanceqi de tance xiaolü

半导体探测器的探测效率　detection efficiency of semiconductor detector　又称峰本征效率。就测 γ 射线而言，系指探测器探测到的入射射线全能峰计数与入射到探测器灵敏体积内的光子数之比。如果要确定射线的强度，就必须知道探测器的探测效率。决定探测器探测效率的主要因素是：探测器的灵敏体积、几何形状和窗厚。此外，对 γ 射线探测器还有两种定义来规定探测器的探测效率：(1) 峰探测效率，或者叫做绝对峰探测效率 η_p。η_p 是指全能峰的净峰面积（全能峰计数）与放射源发射的相应的γ射线数之比。测量方法还规定测量是以 ^{60}Co 源为标准，^{60}Co 源是已知强度的点源，置于探测器顶端 25 cm 处。(2) 相对峰探测效率（相对效率）$\eta_{p\gamma_0}$。在上述测量方法规定的条件下，HPGe 探测器对 1.33 MeV γ 射线的探测效率与 NaI (3 in × 3 in) 闪烁探测器对该射线的探测效率之比就是通常使用的相对效率。

（撰写：吴绍云　审订：王征华）

banshuaiqi

半衰期　half-life　放射性原子核数目衰减到原来数目的一半所需的时间，用 $T_{1/2}$ 表示。它描述核衰变的快慢。不同放射性核素半衰期的变化范围很宽（10^{-22} s～10^{22} a）。准确的半衰期值对于放射性核素的生产和核技术应用具有十分重要的作用。与半衰期密切相关的是衰变常数 λ。衰变常数定义为放射性原子核在单位时间内发生衰变的概率，它的倒数就是放射性原子核的平均寿命。半衰期和衰变常数的关系是 $T_{1/2} = 0.693/\lambda$。　（撰写：陈金象　审订：卢希庭）

banwuxianyuan moshi

半无限源模式　semi infinite source model　当环境介质（大气或水）中放射性烟羽的尺度（σ_y,σ_z）远大于γ射线的平均自由程 $1/\mu$，（μ 是 γ 射线的线性衰减系数，m^{-1}）时，即 $(\sigma_y,\sigma_z)^{1/2} > 1/\mu$，就可以认为存在着辐射平衡条件，即单位体积的污染空气中放射性核素放出的γ射线能量等于该单位体积空气的吸收能量。这种计算浸没照射的模式称之为无限烟羽浸没照射模式。考虑到站到地面的人只有 2π 空间被污染气体包围，故有时也称为半无限源模式。

（撰写：张永兴　审订：胡逢全）

banzhiceng

半值层　half-value layer　置于辐射束路径上能使辐射水平降至一半时的指定材料的厚度，有时以单位面积上的质量来表示。半值层通常仅用于X射线的临床医学方面，此时主要是要了解X射线束在人体或其组织内穿透情况或深部剂量的相对分布，而线束的生物效应与其能谱关系不大，因而在指出管电压的同时，用半值层来表征经过过滤的X射线的线质就可以了。从辐射防护角度出发，切不可将半值层与屏蔽计算时所用的半减弱层混淆起来。由于X射线的能谱特性和宽束效应，屏蔽体对 X 射线的减弱会明显地偏离指数衰减规律。使用宽束X射线经过相当的屏蔽体厚度基本上处于能谱平衡后的半减弱层来估算 X 射线的屏蔽是偏于安全的，而直接使用半值层来估算屏蔽体厚度将会是不安全的。

（撰写：华　旦　审订：吴德强）

bansheng zufen

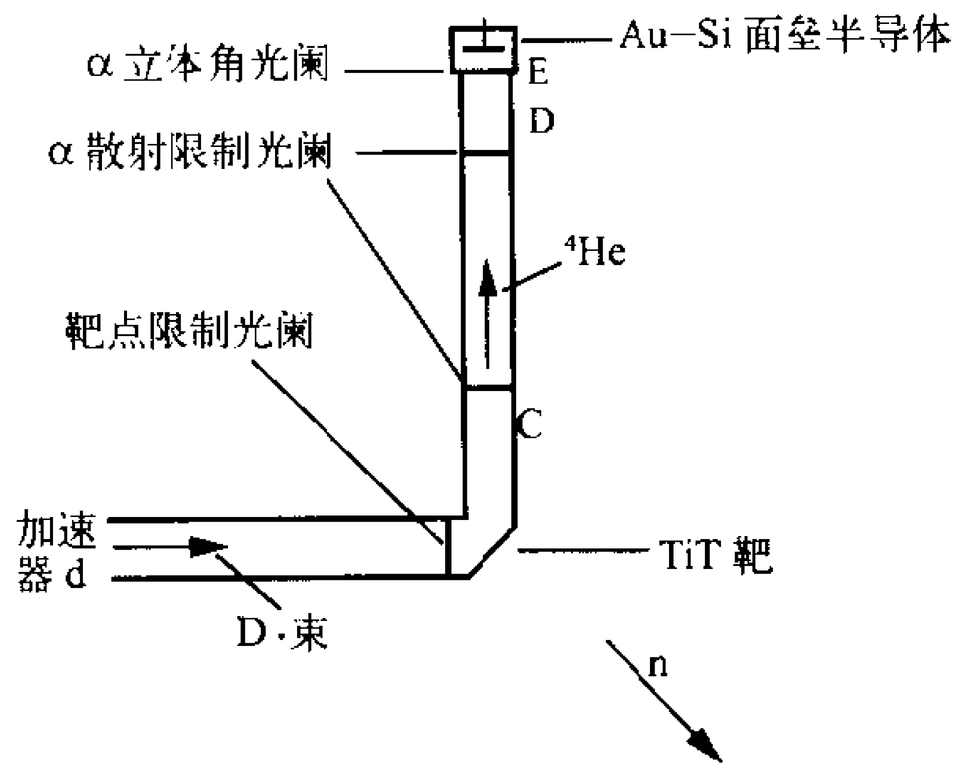
伴生组分　associated component　矿石中与主要有用组分——铀相伴生的其他组分。伴生组分有有用伴生组分和有害伴生组分之分。铀的有用伴生组分系指那些在铀的回收过程中可予综合回收的其他有用组分，而有害伴生组分则是那

些在铀的回收过程中会降低铀的回收率或提高铀的回收成本的其他组分。以硫酸法地浸开采砂岩型铀矿床为例，铼、硒、钇、钒、钼、钪和几种镧系元素常与铀一起随浸出液返回地面，可被综合回收，是有用伴生组分；而矿石中的碳酸盐会增加耗酸量，有机质会增大氧化剂的消耗，黏土矿物会减小含矿主岩的透水性，是有害伴生组分。

（撰写：陈祖伊　审订：赵凤民）

bansuilizi fa

伴随粒子法　associated particle method　测量中子注量率的方法之一。利用测定产生中子的核反应中，同时产生的带电粒子数目确定中子注量率的方法。最常用的如T (d, n) ^{4}He，通过测定α粒子，可以准确求出在不同角度产生的中子注量率和中子的能量。另外D (d, n)^{3}He反应也有类似的作用，但因产生的^{3}He粒子能量比较小，不易与散射氘束分开，故测量比较困难。但该核反应还有一竞争反应D (d, p) T，通过测定产生的质子，也可以求出相应角度的中子注量率和中子能量。但这两个反应只有在入射粒子能量低于300 keV时，在质心坐标系内其角分布是各向同性的，计算比较简单，且散射d的影响才能用很薄(1～2 μm)的铝箔来消除。所以这种方法只限于产生14 MeV[对T(d,n)反应]和2.5 MeV [对D (d, n)反应]附近能量的中子，其应用是受限制的。伴随粒子法有突出的优点，可以通过测量伴随粒子，随时监测中子的变化，同时给出中子注量率。其装置可设计得非常简单，轻巧而对被测中子场干扰很小。因此，是目前测量中子注量率最准确的一种方法（见图）。一些小型的高压倍加器主要利用这两种核反应做中子源，所以这两种方法在这种加速器中用得很普遍。（撰写：容超凡　审订：丁声耀）



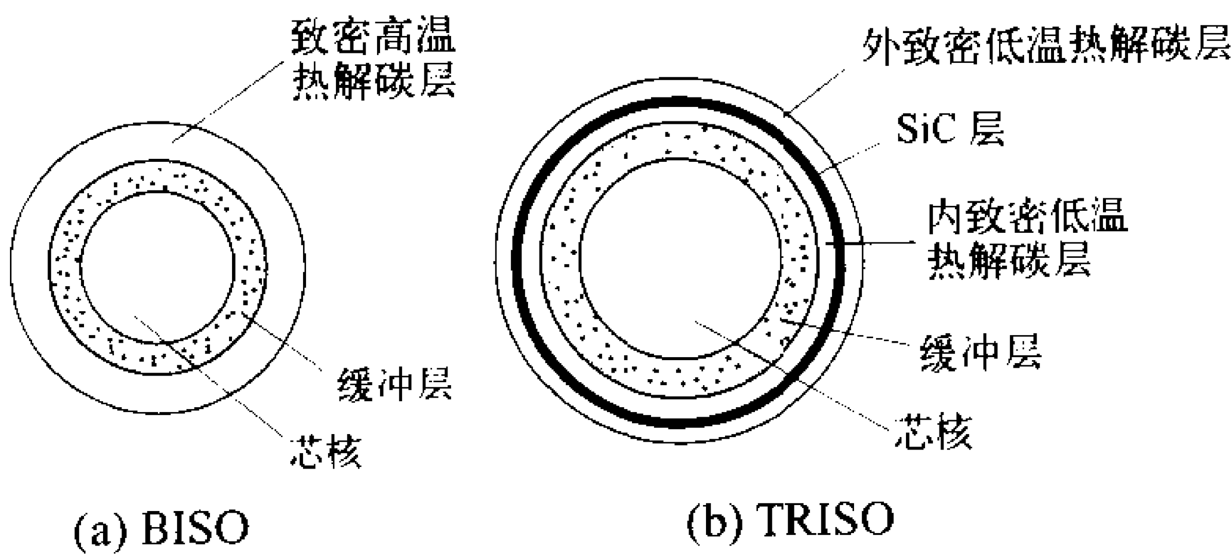
伴随粒子90°靶管装置示意图

baofu keli ranliao

包覆颗粒燃料　coated particle fuel　由覆盖层包裹的易裂变材料或易裂变材料—可转换材料混合物的燃料颗粒弥散在石墨基体内制成的混合燃料体。（撰写：李文埮　审订：张忠岳）

baofu ranliao keli

包覆燃料颗粒　coated fuel particle　由燃料芯核［UO_2或$(U,Th)O_2$］和多层包覆层构成的燃料颗粒。它是高温气冷堆燃料元件的重要组成部分。包覆燃料颗粒有两层的BISO颗粒和四层的TRISO颗粒，包覆层总厚度约为0.2 mm（见图）。常用的包覆层有疏松热解碳、致密热解碳和碳化硅（或碳化锆）。疏松热解碳层为裂变气体和CO提供存储空间，吸收芯核的辐照肿胀和防止裂变反冲核对致密层的损伤，因此又称缓冲层。致密热解碳层构成一个微型压力容器，据估算，该层可承受几十兆帕的裂变气体压力，并能阻挡裂变产物的释放。包覆燃料颗粒的制造参见溶胶—凝胶工艺制备燃料芯核和燃料芯核包覆工艺。（撰写：邱学良　审订：李文埮）



高温气冷堆的包覆燃料颗粒示意图

baoqi dai

包气带　aerated zone　从地表到潜水位之间的土壤或岩石的非饱和带，因其包含有空气，故称包气带。研究核素在包气带中迁移首先要了解包气带中水分运移特征。包气带水主要以毛细管水、吸着水、薄膜水和气态水形式存在，在同一种均匀的孔隙介质中含水率随位置和时间变化，从而导致总水势（主要由土壤基质吸收势和重力势、其次是薄膜势和温度势组成）梯度、非饱和渗透系数和弥散度等影响核素迁移的重要流场参数发生急剧变化。通过特定场址含水率和土壤基质吸收势观测、实验室土壤水特征曲线测量等研究可了解包气带中水分运移规律。国外学者先后提出了一些经验公式描述孔隙介质包气带中这些参数之间的变化关系，其中Van Genuchten提出的公式目前得到日益广泛的应用。如果低、中水平放射性废物近地表处置设施在潜水位之上，在工程屏障性能变差之后，泄漏的核素首先要进入包气带。在长期环境影响分析中，必须注意到包气带的滞留作用一方面使进入含水层的核素浓度显著降低；另一方面会使具有较高阻滞系数的长寿命核素长期停留在近地表范围内，这是处置设施关闭后涉及意外闯入和场址再利用的安全分析中的关键问题之一。（撰写：郭择德　审订：陈　式）

baoqiao guan

包壳管　cladding tube　封装核燃料的金属圆管。包壳管两端用端塞焊死，用来保证在使用过程中产生的裂变产物不致进入冷却剂，同时亦防止冷却剂进入包壳与燃料发生相互作用。目前，压水堆和重水堆包壳管材料通常用Zr-4合金，沸水堆多用Zr-2合金。对铀燃耗高于42000～45000 MWd/t的压水堆燃料元件，为了防止包壳外壁过度腐蚀，将采用抗腐蚀性能更好的低锡锆合金或改进的Zr-Nb合金。快堆包壳管壁较薄，工作温度高，多用不锈钢制成。包壳管与燃料芯块之间留有间隙，以推迟包壳管与芯块发生相互作用。间隙热阻很大，需在其中充入氦气（约1～2 MPa）以改善传热，并防止包壳管在高压冷却剂作用下发生包壳失稳（塌陷）。

（撰写：张忠岳　审订：黄玉才）

baoqiao shuice jiasu fushi

包壳水侧加速腐蚀　accelerated water side corrosion of cladding　燃料元件在高燃耗、长换料周期情况下，包壳水侧氧化膜厚度超过目前的正常水平，导致氧化膜与包壳基体界面处温度增高，从而使腐蚀速率增大的现象。对PWR燃料元件而言，包壳水侧加速腐蚀，形成非良性循环，最终氧化膜过厚，包壳不堪使用；同时，氧化膜常易因温度不匀或流致振动而发生局部剥落，从而加剧吸氢，促使包壳局部脆裂。包壳水侧加速腐蚀是PWR燃料元件达到高燃耗的一个制约因素。（撰写：张忠岳　审订：黄玉才）

B

baoqiao wanzhengxing

包壳完整性 cladding integrity 燃料元件包壳在使用中保持结构完整、不发生破损的性能。保持包壳完整性的最终要求是包壳在任何情况下不发生破损。造成包壳破损的可能原因很多，例如：氢化引起的局部侵蚀穿孔和脆断；功率剧增引起的芯块–包壳机械和化学相互作用；弹簧松弛引起包壳的振动磨蚀和腐蚀引起的壁厚减薄；以及由结垢引起包壳局部过热穿孔等。从设计、制造和运行等诸多方面采取有效的预防和改进措施，可提高包壳管结构完整性。

（撰写：王树人 审订：李文埃）

baorong

包容 containment 防止放射性物质穿过确定的边界向外界转移或扩散的方法或实体结构。要求即使在事故情况下，这些方法或实体结构也能防止放射性物质的外泄达到不可接受的程度。为了防止放射性物质的泄漏，目前核电厂采用多种工程措施包容核反应产生的放射性物质，包括燃料元件包壳、反应堆冷却剂压力边界和安全壳。燃料元件包壳将燃料芯块中产生的裂变产物包容在其内部。在燃料元件包壳有破损情况下，包壳内放射性裂变产物将释放到反应堆冷却剂中并被包容在反应堆冷却剂压力边界内。如果反应堆冷却剂压力边界发生破损，放射性物质将进入安全壳系统，并被包容在安全壳内。后两道实体结构将有效地阻止放射性物质进入到环境。生产堆和研究堆一般也设有实体包容结构。在操作易裂变材料或放射性物质的场所或小室，为防止放射性物质的泄漏，都设有密封结构，以包容放射性物质。

（撰写：刘 华 审订：吴德强）

baorongqiao

包容壳 confinement 用以限制含放射性物质的气体向外部环境的非控释放而为核装置设置的外壳。包容壳及其相关系统（空调、过滤及送风等）应具有保持壳内负压的能力，保证出入包容壳的气体按设计的路径流动。

（撰写：俞尔俊 审订：陈叔平）

baorong xitong

包容系统 containment system 由设计者规定的，旨在整个运输过程中保留放射性物质的包装部件组合体。

（撰写：董柳灿 审订：赵亚民）

baozhuang

包装 packaging 全部包容放射性内容物所必需的各种部件的组合体。它可以包括一层或多层容器、吸收材料、间隔构件、辐射屏蔽层以及供装载、排空、通风和降压的设备、也可以包括供冷却、吸收机械冲击、装卸、拴系和隔热用的器件以及供与货包组合成整体的器件。包装可以是箱子、桶和类似的容器，也可以是货物集装箱、运输罐或中间散装容器。在放射性物质运输安全规程中还常应用外包装这一术语，其含义与包装不同，外包装系指箱子和袋子之类的外壳，供单个发货者使用。它只是把两件或两件以上的货包的托运货物组合成一个装卸单元，便于装卸、堆放和运输，并无包容功能。

（撰写：董柳灿 审订：赵亚民）

baoceng fangshexing shizong ceshi

薄层放射性示踪测试 thin layer radiotracer test 基于放射性示踪原理研究材料表面和整体性能的实验手段。薄层是指物质表面厚度小于 1 mm。薄层放射性示踪测试方法有两种：(1) 薄层活化；(2) 放射性核束注入。薄层活化是用加速器产生的带电粒子（如质子）束辐照被研究器件的关键部位，以产生一带放射性的活化薄层，薄层中的放射性原子即可用作示踪剂。薄层活化法可以用于所有类型的钢材、非铁金属和合金、铝、钴、铬、铜、钼、镍、铅、锡、钛、钒、钨和锌都可被活化。放射性核束注入是将加速器产生的放射性束流（如 ^{7}Be）经被研究器件的表面直接注入到一定的深度处，利用注入的放射性粒子作为研究薄层性能的示踪剂。这一技术可以用于所有材料的研究。薄层活化法的特点是既可以研究材料的总体改变，也可以研究组成材料的单一元素量的变化，但不适合有机材料的研究。放射性核束注入法是一种新近开发的技术，特点是适合于研究所有的固体材料，但仅用于测试材料的总体改变。以上两种测试技术都是非破坏性的，均可实现在线实时测量，灵敏度高，操作方便。对于监测运转过程中工业设备关键部件的磨损研究具有实际意义。此外，薄层放射性示踪测试还可以用于材料和器件的磨损、腐蚀、风蚀以及类似过程的研究，并成为新材料性能评价的一种有效工具。

（撰写：张培信 审订：吕延晓）

baomo jiliangji

薄膜剂量计 film dosimeter 在电离辐射作用下吸收光谱发生变化的一种有机薄膜。吸光度的变化可以用紫外—可见分光光度计定量测定，经标准剂量计校准后可用于测定吸收剂量。该类剂量计的量程从几十戈瑞到 100 kGy 不等，是主要用于辐射加工中质量控制的常规剂量计。某些剂量计性能较好，也可用作标准剂量计。因为薄膜（厚度小于 200 μm）的空间分辨好，所以也是一种很有发展前途的剂量计，特别是在电子束辐射加工中，除了可测定吸收剂量，还可以测定深度剂量分布，并依此评估电子束的平均能量。

（撰写：陈云东 审订：丁声耀）

baohe feiteng qishidian

饱和沸腾起始点 onset of saturated boiling (OSB) 加热管内产生泡核沸腾后平均液体温度 T_b 上升到刚好等于饱和温度 T_S 时的位置（参见泡核沸腾起始点图）。

（撰写：郝老迷 审订：陈玉宙）

baohe qilunji yepian cailiao

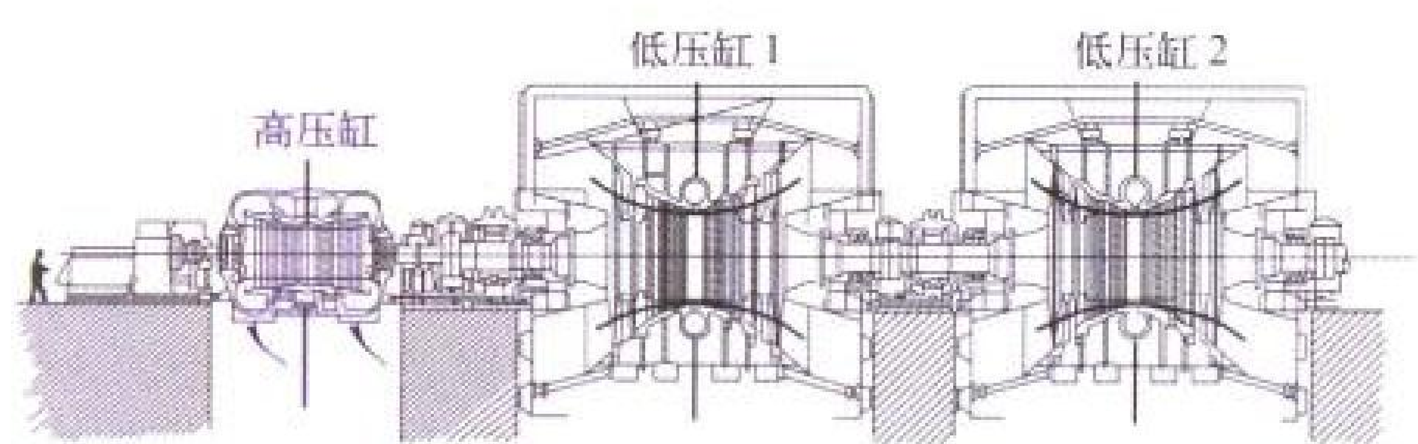
饱和汽轮机叶片材料 saturated steam turbine blade materials 用于制造饱和蒸汽汽轮机叶片的材料。汽轮机叶片受高温高压蒸汽的作用，承受着较大的弯矩，高速旋转的动叶片还承受很大的离心力。尤其是末级叶片，还要经受电化学腐蚀和水滴冲蚀。此外，动叶片还要承受很复杂的激振力。因此叶片材料应满足以下要求：(1) 在室温和高温下具有足够的力学性能；(2) 有高的抗振动能力；(3) 高的组织稳定性；(4) 良好的耐腐蚀和冲蚀能力；(5) 良好的工艺性能。饱和汽轮机的叶片材料需用抗腐蚀性高的不锈钢。末级叶片的材料要求更高，宜采用强化的铬—钼钢，如 2Cr12Ni2W1Mo1V 钢，其屈服极限不低于 735 N/mm^2。另外，可降低回火温度，牺牲少量韧性来获得更高的强度。更先进的是采用比重小和强度高的钛合金材料，如 $TiAl_6V_4$、$TiAl_7Mo_4$ 等。为了缓解叶片表面严重水冲蚀损坏，可对叶片表面进行强化保护，如银焊司太立合金片、表面淬火、电火花强化、镀铬、等离子喷

镀渗氮等。其中以司太立合金片的抗水冲蚀效果最好。

（撰写：张裕林　审订：杜圣华）

baohe zhengqi qilunji

饱和蒸汽汽轮机　saturated steam turbine　使用新蒸汽湿度为 0.4%～0.5% 的饱和蒸汽或过热度为 25～30℃ 的微过热蒸汽做功的汽轮机。核电饱和蒸汽汽轮机的蒸汽可用比焓降仅为常规火电机组的 60% 左右，排汽体积流量为后者的 170% 左右，因此其特点为 (1) 流道数目多（即增加低压缸数目）和趋向采用半速机组（增加末级叶片高度）；(2) 常采用较高的设计背压，以减少排汽的余速损失；(3) 高压缸一般也采用双流结构（见图）；(4) 为避免水滴对材料的冲刷腐蚀，高压缸应采



900 MW 核汽轮机

取机内除湿措施和选用适当的材料；(5) 由于设备的中间容积（汽水分离再热器和抽汽管路等）大，机组甩负荷造成蒸汽膨胀和水膜的闪蒸，可使超速达到 25%～30%，机组应采取特殊的超速控制和保护措施，将超速限制在 6% 左右。随着汽轮机功率的增大，末级叶片增高受到材料许用应力的限制，因此，从20世纪 70 年代起 600 MW 以上的核电汽轮机大多数采用半速（1500 r/min 或 1800 r/min）机组。

（撰写：杜圣华　审订：张维忠）

baohu fenqu shiti pingzhang

保护分区实体屏障　physical barrier for protection sections　将保护范围的要害区、保护区和控制区之间在实体上隔离开的屏障。例如墙体、铁丝网等。在实体屏障上设有人员和车辆通行的专门通道，称为通行控制口，供各区之间的人员、物资和车辆的出入。实体屏障要有防止人员和车辆的非法穿入、阻止暗中进入和强行穿入的能力，它能延缓非法入侵者强行穿入的时间，以便保卫人员有足够时间能探测、判断并作出应急反应，采取措施制止事件的发生。实体屏障可以是砖墙、水泥墙或铁丝网，要根据实际延缓时间的需要而定。实体屏障的有效性是指其延缓非法入侵的时间大于应急响应时间，以保证应急反应人员在非法入侵者在未通过该实体屏障时采取措施制止事态发展。为了便于探测到非法事件的发生，往往将探测系统和报警系统装在实体屏障上。同时，为了便于探测到非法入侵事件，在重要的实体屏障两侧，留有一定宽度的空旷的隔离带，在隔离带内不能有任何可以隐藏人员等的障碍物（如材料堆、土堆、树木等）。实体屏障在晚间要有一定亮度的照明。

（撰写：薛伟贤　审订：董柏年）

baowei xitong wanzhengxing

保卫系统完整性　integrality of protection system　实物保护中的保卫系统是由技术防范系统，指挥通信系统和人力警卫等多个方面有机组成的完整体系。各部分之间的配合关系和联系，由实物保护的保卫大纲规定。各部分的工作由控制中心统一指挥，每个部分的工作均能按保卫大纲的要求进行，每个环节的衔接良好，形成一个完整、统一的体系。保持保卫系统的完整性，是该系统的运行有效性的重要指标。完整性要求，任何一个环节出现问题，相应环节必须有反应，以弥补缺陷并尽快恢复其功能；各个环节之间的衔接，要随时保持良好，并要定时进行检测。否则，就表示保卫系统完整性受损。

（撰写：薛伟贤　审订：董柏年）

B

baohong xulie

爆轰序列　detonating train　核武器中起爆序列加上主装药构成爆轰序列。内爆压紧型核武器由炸药爆轰产生内聚爆轰波驱动飞层达到核爆目的。因此，在主装药外表面同步引爆就是关键性技术。在主装药内形成的内聚爆轰波阵面在相同的时间爆速和状态必须均匀一致。在聚心传播中随着时间增加其爆速和压力都不断地增加。这是由于聚心效应和马赫反射整形作用的结果。聚心波驱动推进飞层增压，压缩裂变材料达到超临界形成核反应。要提高核反应效率，主装药必须有足够的质量，其厚度和成分密度必须高度均匀。各起爆序列装置之间的拼合壁（非爆炸材料）厚度必须满足波形传播整形的要求。在主装药中传播的内爆聚心波必须同步驱动飞层，以提高飞层增压效率。

（撰写：刘文翰　审订：俞大光）

baoxin touyingdian

爆心投影点　ground zero　核试验中核爆炸中心投影在地面的位置。大气层核试验中爆心投影点位置上的地面冲击波超压最大，光辐射、核辐射最强，因此核爆炸效应试验的效应物都以爆心投影点为参考点来布置。在竖井方式地下核试验中，爆心投影点往往就是竖井井口，是工程施工、核装置吊装、测试设备现场调试的主要场所；爆炸后爆心投影点还可能是放射性泄漏较强的位置。平洞方式核试验中没有明确的爆心投影点概念。

（撰写：吕敏　审订：乔登江）

β cankao fushe

β 参考辐射　reference β radiation　由国际标准化组织（ISO）规定的由核素源产生的适用于校准防护水平 β 剂量仪、剂量率仪和确定它们能量响应的 β 辐射。参考辐射包括两个系列：系列 1 是带有展束过滤器的核素源产生的参考辐射。展束过滤器（beam flattening filter）使得 β 束展开并在一个规定距离上产生大面积均匀剂量率。建议的核素是 $^{90}Sr+^{90}Y$，^{204}Tl 和 ^{147}Pm。产生的最大剂量率约为 5 $mGyh^{-1}$。系列 2 也是利用核素源产生的参考辐射，但不带展束过滤器。可以利用大面积平面源产生。这个参考辐射的源至校准平面距离可在一个范围内改变。当然，接近源只能产生相对较小面积的均匀剂量率。这个系列参考辐射相对于系列 1 的优点是扩展了能量和剂量率范围，增加了核素 ^{14}C 和 $^{106}Ru+^{106}Rh$，剂量率可达 10 Gyh^{-1}。作为参考辐射对校准距离上的最大剩余能量，剂量率均匀性以及其他核素和光子污染等都有一定要求。由于系列 1 参考辐射使用了展束过滤器，所以只能在校准距离上提供满足剂量均匀性要求的参考辐射。展束过滤器可自行设计也可按 ISO 6980 给出的示例制作。对于系列 2 参考辐射，其核素源可以是高活度点源，也可以是大的平面源，可以在接近源表面到一定距离范围内使用，但在接近源表面使用时可能会有明显的剂量率的不均匀，而在较远距离使用时又需注意是否满足最大剩余能量的要求。尽管 ^{204}Tl 适于作 β 参考辐射，但其化学毒性太大并且有一定的光子污染，在以后

ISO 标准建议中，很有可能以^{85}Kr代替^{204}Tl，它们的β粒子最大能量和最大剩余能量相当，而^{85}Kr的半衰期约为^{204}Tl的3倍。（撰写：李景云 审订：容超凡）

B

β guigaiyoukuang

β硅钙铀矿 β uranophane 含水的钙铀酰硅酸盐，化学式为$Ca[UO_2(SiO_3OH)]_2 \cdot 5H_2O$（见图）。该矿物发现于捷克雅希莫夫地区，单斜晶系。晶体呈柱状、针状。集合体为放射状、致密块状，油脂光泽。解理沿{010}完全。硬度2～3、相对密度3.96～4.08。在紫外光照射下发污绿色荧光。二轴晶负光性。折光率$N_p=1.661 \sim 1.678$，$N_m=1.682 \sim 1.698$，$N_g=1.689 \sim 1.715$。β硅钙铀矿是常见的表生铀矿物，与硅铅铀矿、硅钙铀矿、含铀玻璃蛋白石、多水高岭土等共生。（撰写：赵凤民 审订：胡绍康）


β硅钙铀矿集合体

β shuaibian

β衰变 β decay 不稳定原子核通过放出β粒子或俘获核外的轨道电子转变为另一原子核的现象。除满足电荷数和质量数守恒、能量和动量守恒外，原子核始末态的自旋和宇称变化还应遵循一定的选择定则才能发生β衰变。它可分为三种类型：(1) β^-衰变（负β衰变）：发出负电子和反中微子$\bar{\nu}$，表示为${}^A_ZX \longrightarrow {}^{A}_{Z+1}Y+e+\bar{\nu}$。发生$\beta^-$衰变的必要条件是，母核的原子质量大于子核的原子质量。(2) β^+衰变（正β衰变）：发出正电子和中微子ν。表示为${}^A_ZX \longrightarrow {}^{A}_{Z-1}Y+e^++\nu$，发生$\beta^+$衰变的必要条件是，母、子核的原子质量差大于两倍的电子静止质量。(3) 轨道电子俘获：原子核俘获核外的轨道电子实现原子核的转变并同时放出中微子，表示为${}^A_ZX+e \longrightarrow {}^{A}_{Z-1}Y+\nu$，发生轨道电子俘获的必要条件是，母核与子核的原子质量差所等效的能量大于被俘获电子在子核原子中所对应壳层的结合能。因此β^+衰变过程往往伴随轨道电子俘获。在特殊的情况下，不稳定的原子核也可发生同时发射两个β粒子的衰变，称为双β衰变。研究β衰变对于揭示弱相互作用的特性也是一重要的手段。美籍华人吴健雄正是利用测量极化的${}^{60}_{27}Co$的β^-衰变，证实了李政道和杨振宁所作的在弱相互作用下"宇称不守恒"的著名论断。

（撰写：唐国有 审订：卢希庭）

β yanchi liebian

β延迟裂变 β-delayed fission 母核β衰变后生成子核，而子核发生裂变的β衰变过程。发生这一过程的条件是β衰变的Q值大于或等于子核的裂变势垒高度，故它只能在远离β稳定线的丰中子重核素区出现。β延迟裂变能终止极丰中子核通过β^-衰变向稳定核移动的质量链，所以它直接影响到超新星和核爆炸过程中通过多次中子俘获生成重元素和超重元素的产额。至今关于β延迟裂变的最直接的实验证据是从核反应^{254}Es(t，p)生成的同核异能素$^{256}Es^m$的衰变过程中得到的。（撰写：韩洪银 审订：张焕乔）

β zhi

β值 β value 见托卡马克等离子体比压限制。

beikele'er

贝可[勒尔] becquerel (Bq) 放射性活度的国际单位制(SI)单位专用名称，其单位为每秒(s^{-1})。曾使用过的单位专用名称为居里(Ci)，现已不使用，两者之间的关系：

$$1Ci=3.7 \times 10^{10}\ Bq \ （精确值）。$$

（撰写：董柳灿 审订：陈竹舟）

beisanshe fenxi

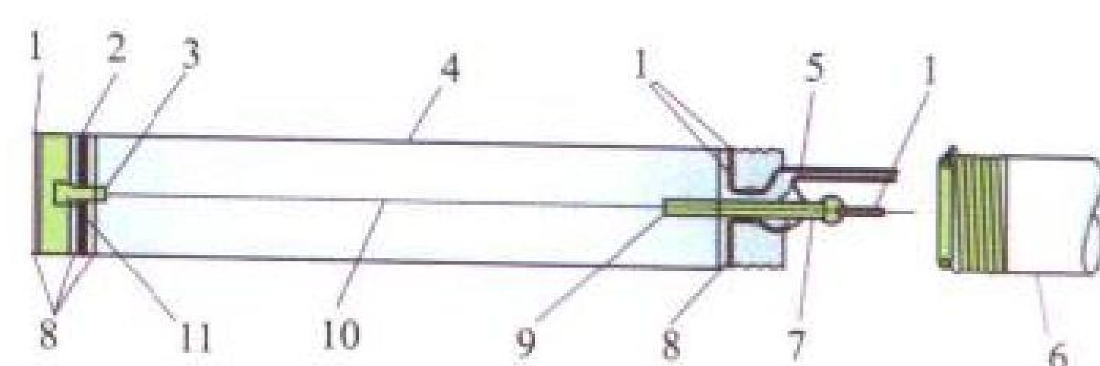
背散射分析 back-scattering analysis 又称卢瑟福背散射分析。基于带电粒子通过物质发生的大角度散射以确定物质中元素成分和含量的一种离子束分析技术。入射的轻带电粒子，如α粒子，与重原子核间发生库仑散射，一部分入射粒子在大角度方向（即出射粒子与入射粒子夹角大于90°的方向）被弹性散射回来，发生背散射。根据核碰撞的运动学因子关系式，对于不同质量的原子核，背散射粒子的能量不同，在背散射能谱上表现为不同的位置。对同一种原子核，处于样品中不同深度，由于带电粒子的能耗，背散射粒子的能量也不同。因此，分析背散射能谱不仅可确定样品中各元素的含量，还可确定它们的深度分布。背散射分析的优点是方法简便、可靠、快速，目前已广泛用于半导体材料、金属材料、薄膜材料和材料改性研究中样品表面层元素成分、杂质含量、深度分布和薄膜界面特性的分析。近年来发展的弹性反冲探测法(ERD)，可以分析重基体中的轻元素。这种背散射分析的入射粒子是重离子，它与轻核发生背角弹性散射时，轻核向前方反冲，为探测器所记录。（撰写：张士琛 审订：吕延晓）

beidong kongzhi

被动控制 passive control 又称消极控制。以行政管理手段对退役核设施实施的控制。核设施退役和治理过程中及治理竣工后，必须通过国家或地方立法，建立必要的行政管理措施，包括土地使用的控制。对核设施退役环境治理工程加以管制，防止自然和人为破坏，以确保治理工程的长期有效性，使之达到长期安全稳定的目的。它是与主动控制相辅相成的重要控制方面。（撰写：潘英杰 审订：赵亚民）

BF_3 zhengbi jishuguan

BF_3正比计数管 boron trifluoride proportional counter 一种充有BF_3气体的正比计数管（见图）。计数管的初始电离是由慢中子与^{10}B进行核反应产生的α粒子和锂核引起的，它是用来记录单个中子脉冲的，由于它的中子脉冲幅度大；而γ射线产生的脉冲幅度小，因而能有效地将中子脉冲与γ射线脉冲区分开。计数管内充以含有浓缩^{10}B或天然硼的BF_3气体，由于BF_3气的化学性质很活泼，容易与计数管的结构材料起化学作用，因而必须选用化学性质稳定的结构材料；在



BF_3正比计数管结构示意图
1—硬焊点；2—陶瓷绝缘子；3—阳极丝固定端子；4—阴极外壳（不锈钢）；5—玻璃金属封接；6—保护盖；7—阳极丝焊点；8—给绝缘子及端片定位槽；9—场管；10—阳极丝（钨丝）；11—小弹簧

充气过程中还须采取一系列有效工艺，才能制做出性能长期稳定可靠的BF_3正比计数管。由于BF_3正比管造价相对低廉，性能稳定可靠，探测效率较高，在核实验以及工业中（如中子水分计、公路路基湿密度计等）得到较广泛应用。

（撰写：陈玉华　审订：彭华寿）

BGO shanshuoti

BGO 闪烁体　BGO scintillator　一种无色透明的纯锗酸铋本征晶体构成的无机闪烁体，分子式为 $Bi_4Ge_3O_{12}$（简写为BGO）。它的一般性质见表。锗酸铋的主要特点是平均原子序数高，密度大。因而对 γ 射线的阻止本领大。其对 1～10 MeV 的 γ 射线的吸收系数是 NaI (Tl) 的 2.5 倍左右。这表明，为了获得对 γ 射线的相同的吸收效率（探测器效率），BGO 晶体的线性尺寸仅为碘化钠（铊）的 40% 左右，而前者的几何体积仅为后者的 6.4%。BGO 可以用于任何空间有限，

BGO 闪烁体的一般性质表

性质	数值
密度 /(g/cm³)	7.13
熔点 /℃	1050
发射带 /nm	480
闪烁衰减时间 /μs	0.3
相对于 NaI(Tl)的光输出 /%	12～14
折射率(480 nm)处	2.15

而要求对 γ 阻止本领大的场合，特别适合于高能 γ 辐射探测的场合。另外，这种闪烁体还具有化学性能稳定、机械强度好、不潮解等优点。其缺点是能量分辨率较差。

（撰写：汲长松　审订：彭华寿）

bidengxiao baiwandunshu

比等效百万吨数　equivalent megatonnage-to-weight ratio　核弹威力的等效百万吨数与其重量的比值。是作为衡量不同威力核弹设计水平的一个概略指标。可以弥补比威力指标在衡量威力相差较大的核弹之间的设计水平时所带来的缺陷。比等效百万吨数和比威力指标之间差别主要反映在威力和等效百万吨数之间的差别上（参见等效百万吨数）。下面列举两种核弹数据来说明：美国 20 世纪 60 年代初研制的"大力神"Ⅱ洲际弹道核导弹的弹头重量约为 3700 kg，威力为 9 MtTNT，其比威力约为 2400 t TNT · kg⁻¹，其比等效百万吨数为 1.17 × 10⁻³/kg；20 世纪 70 年代研制的"民兵"Ⅲ洲际弹道导弹，能携带 3 个 W78/MK-12 A 子弹头，每个子弹头重量为 180 kg 左右，威力为 335 ktTNT，其比威力约为 1900 tTNT/kg，其比等效百万吨数为 2.68 × 10⁻³/kg。可以看出，前者的比威力数值要比后者大，但前者的比等效百万吨数要比后者小，而实际的核武器设计水平是后者比前者高得多。所以在比较威力相差较大的核武器设计水平时，比威力指标不能真实反映武器的设计水平，这时用比等效百万吨数就比较合适。

（撰写：竺家亨　审订：郑绍唐）

bihuodu

比活度　specific activity　单位质量的某种物质的放射性活度，单位是 Bq/kg。例如，^{137}Cs 在某地土壤中的比活度为 5.5 Bq/kg。与比活度有关的另一个术语为放射性浓度，其定义是某种物质单位体积的放射性活度。室外空气中 ^{222}Rn 平均放射性浓度为 (0.4～2) × 10^{-2} Bq/L。

（撰写：郭景儒　审订：崔安智）

bili baogao

比例爆高　scaled height of burst　简称比高。爆炸高度 h 与威力 Q 的立方根之比 $h/Q^{1/3}$。定义此量是为了简化对空中核爆炸的描述和分类。因为核武器在空中爆炸的主要毁伤因素冲击波的超压值，近似地与到爆点距离的立方成反比。在相同气象条件中，不论爆炸威力如何改变，只要比高相同，爆心投影点的冲击波超压就相同。有了这个概念，就可将空中核爆炸按比高分类。将比高在 250 m/(ktTNT)$^{1/3}$ 以上的空中核爆炸称为大比高空爆；比高在 120 m/(ktTNT)$^{1/3}$ 以下的空中核爆炸称为小比高空爆；介乎以上二者之间的称中比高空爆。用同样方法可建立比深的概念来描述地（水）下核爆炸。比深定义为爆炸深度与威力立方根的比值。并将比深不足 80 m/(ktTNT)$^{1/3}$ 的核爆炸称为浅层地（水）下核爆炸；比深在 120 m/(ktTNT)$^{1/3}$ 以上的核爆炸称为封闭式地下核爆炸或深层水下核爆炸。

（撰写：俞大光　审订：郑绍唐）

bishi dongneng

比释动能　kerma (K)　dE_{tr} 除以 dm 而得的商，即

$$K = dE_{tr}/dm \tag{1}$$

式中 dE_{tr} 为不带电粒子在质量为 dm 的某物质内所释放的全部带电粒子初始动能的总和。比释动能的单位为焦耳每千克 ($J \cdot kg^{-1}$)，专用单位名称为戈瑞 (Gy)。量 dE_{tr} 包括俄歇电子的动能。对于能量为 E 的带电粒子的注量 Φ 与在规定的物质内的比释动能 K 之间的关系可由下式给出

$$K = \Phi E \mu_{tr}/\rho \tag{2}$$

式中 μ_{tr}/ρ 为该粒子的某物质的质量能量转移系数。在剂量计算中，比释动能 K 通常以非带电粒子注量随能量的分布 Φ_E 来表示，即

$$K = \int \Phi_E E \frac{\mu'_{tr}}{\rho} dE \tag{3}$$

式中 μ'_{tr}/ρ 为能量为 E 的非带电粒子的某物质的质量能量转移系数。

（撰写：董柳灿　审订：陈竹舟）

bishi dongnenglü

比释动能率　kerma rate ($\dot{K}$)　dK 除以 dt 而得的商，即

$$\dot{K} = dK/d$$

式中 dK 为在时间间隔 dt 内比释动能的增量。比释动能率的单位为焦耳每千克秒 ($J \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$)，如果采用专用单位，其名称为戈瑞每秒 ($Gy \cdot s^{-1}$)。

（撰写：董柳灿　审订：陈竹舟）

bi shou yu neng

比授与能　specific energy imparted　(z) ε 除以 m 而得的商，即

$$z = \varepsilon/m \tag{1}$$

式中 ε 为电离辐射授与质量为 m 的物质的能量。比授与能的单位为焦耳每千克 ($J \cdot kg^{-1}$)，专用单位名称为戈瑞 (Gy)。比授与能可以由一次或多次能量沉积事件形成。分布函数 $F(z)$ 就是比授与能等于或小于 z 的概率。概率密度 $f(z)$ 是 $F(z)$ 对 z 的导数，即

$$f(z) = \frac{dF(z)}{dz} \tag{2}$$

式中 $F(z)$ 和 $f(z)$ 取决于吸收剂量。对于没有能量沉积的概

率，概率密度 $f(z)$ 包括在 $z=0$ 处的一个离散的分量（狄拉克 σ 函数）。在单次事件中沉积的比授与能之分布函数 $F_1(z)$ 是出现一次事件时其沉积的比授与能小于或等于 z 的条件概率。概率密度 $f_1(z)$ 是 $F_1(z)$ 对 z 的导数，即

$$f_1(z)=\mathrm{d}F_1(z)/\mathrm{d}z \tag{3}$$

对于凸面体，线能 y 和单次能量沉积事件中比授与能的增量 z 之间有下述关系

$$y=\frac{\rho A}{4}z \tag{4}$$

式中 A 为该凸面体的表面积；ρ 为该体积中物质的密度。

（撰写：董柳灿　审订：陈竹舟）

biweili

比威力 yield-to-weight ratio　核弹威力与其质量的比值。是衡量核弹设计水平的一个概略指标。通常用“吨 TNT 当量每千克”作为其计量单位。美国第一颗枪法原子弹“小男孩”的比威力约为 3.7 tTNT/kg。第一颗内爆法原子弹“胖子”的比威力约为 4.5 tTNT/kg。威力在 100 ktTNT 以上的现代热核武器，比威力一般为 1000～3000 tTNT/kg。低威力的战术核武器的比威力一般为 4～100 tTNT/kg。对于威力大致相当、类型基本相同核武器的设计水平进行比较时，用比威力衡量是基本可行的。但随着核武器小型化、多弹头技术的发展，对威力较大的单弹头与威力较小的多弹头母舱中的子弹头的设计水平进行比较时，用比威力衡量就存在较大缺陷，需引进比等效百万吨数的指标（参见*等效百万吨数*和*比等效百万吨数*）。

（撰写：竺家亨　审订：郑绍唐）

bi zhuanhuanneng

比转换能 cema (C)　$\mathrm{d}E_C$ 除以 $\mathrm{d}m$ 而得的商，即公式

$$C=\mathrm{d}E_C/\mathrm{d}m \tag{1}$$

式中 $\mathrm{d}E_C$ 为带电粒子（除次级电子之外）在某一物质的质量 $\mathrm{d}m$ 中发生电子碰撞时的能量损失。比转换能 C 的单位为焦耳每千克（$\mathrm{J\cdot kg^{-1}}$），专用单位名称为戈瑞（Gy）。在电子碰撞时带电粒子的能量损失包括克服结合能所消耗的能量和释放电子（称之为次级电子）的任何动能。因此 $\mathrm{d}E_c$ 不考虑其后所有次级电子的能量损失。比转换能 C 可以按带电粒子注量对能量的分布来表示。根据比转换能 C 的定义，不包括次级电子对 Φ_E 的贡献。因此，比转换能 C 由下式给出：

$$C=\int\Phi_E\frac{S_{\mathrm{el}}}{\rho}\mathrm{d}E=\int\Phi_E\frac{L_\infty}{\rho}\mathrm{d}E \tag{2}$$

式中 S_{el}/ρ 为能量为 E 的带电粒子的给定物质的电子质量阻止本领；L_∞ 为相应的非限制性传能线密度。对于高能带电粒子，可能需要考虑由所有能量的次级电子所致的能量传递，因此定义一个修正的概念，即有限的比转换能（C_Δ），由下式给出

$$C_\Delta=\int\Phi'_E\frac{L_\Delta}{\rho}\mathrm{d}E \tag{3}$$

式中 Φ'_E 为包括动能大于 Δ 次级电子的带电粒子注量分布；L_Δ 为有限的电子线阻止本领；ρ 为物质的密度。当 $\Delta=\infty$ 时，有限的比转换能等于比转换能。

（撰写：董柳灿　审订：潘自强）

bi zhuanhuannenglü

比转换能率 cema rate　dC 除以 dt 而得的商，即

$$\dot{C}=\mathrm{d}C/\mathrm{d}t$$

式中 dC 为时间间隔 dt 内比转换能的增量。比转换能率的单位为焦耳每千克秒（$\mathrm{J\cdot kg^{-1}\cdot s^{-1}}$），专用单位名称为戈瑞每秒（$\mathrm{Gy\cdot s^{-1}}$）。

（撰写：董柳灿　审订：潘自强）

bishi heranliao xunhuan

闭式核燃料循环 closed nuclear fuel cycle　乏燃料经过后处理，回收铀、钚并加以重复使用的核燃料循环。闭式核燃料循环的核心环节是乏燃料后处理。乏燃料含铀、钚等有用物质，压水堆乏燃料含有约 96% 的铀、1% 的钚，其余的 3% 为裂变产物和其他锕系元素。回收铀、钚重复使用可提高铀资源利用率 20%～40%，节约分离功约 4%～15%，且可为快中子增殖堆积累钚。建立闭式核燃料循环是快中子增殖的必要先决条件。

（撰写：章泽甫　审订：朱永赡）

bianjieceng

边界层 boundary layer　流体速度或温度的变化主要发生在靠近固体表面附近的流体层。前者称为流动边界层，后者称为温度边界层。以沿平板流动为例（见图 1），流速 v 从壁面上的零流速变到 $v=0.99v_\infty$ 的流体层 $\delta(x)$ 即为流动边界层。在边界层内，轴向速度沿平板法向变化很大，因而速度梯度和

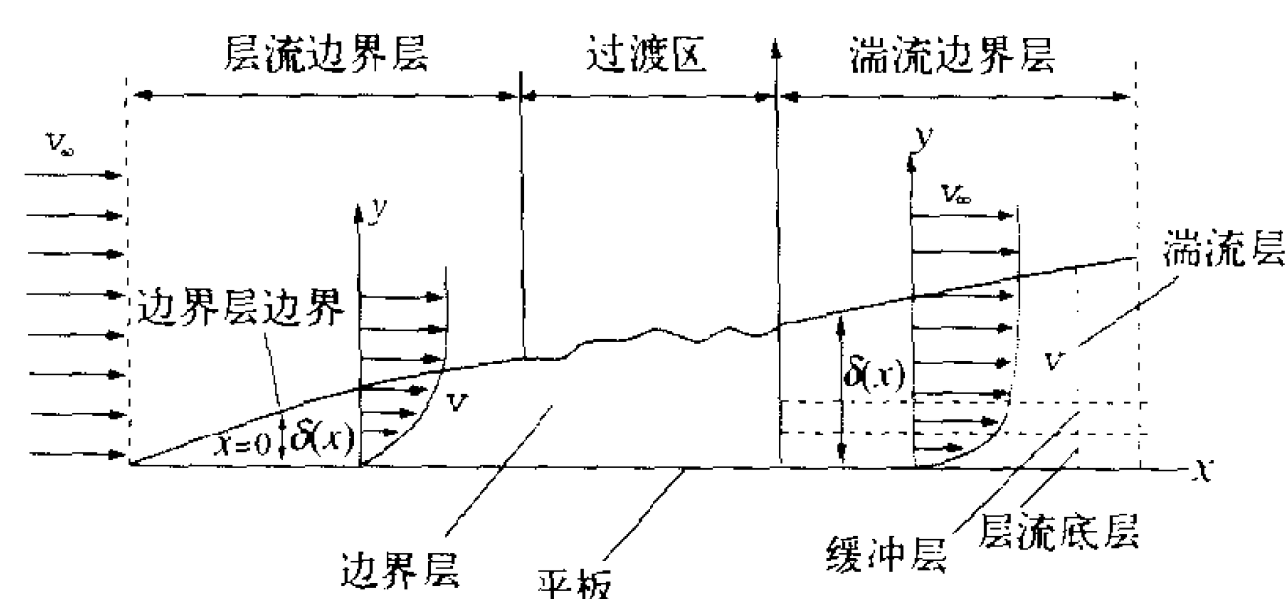


图 1　沿平板的流动边界层

黏性切应力也很大；在边界层外面的区域，$v\approx v_\infty$，因而速度梯度和黏性切应力近似于零。类似地，相对温度 $(T-T_w)$ 从壁面上的零变到 $(T-T_w)=0.99(T_\infty-T_w)$ 的流体薄层即为温

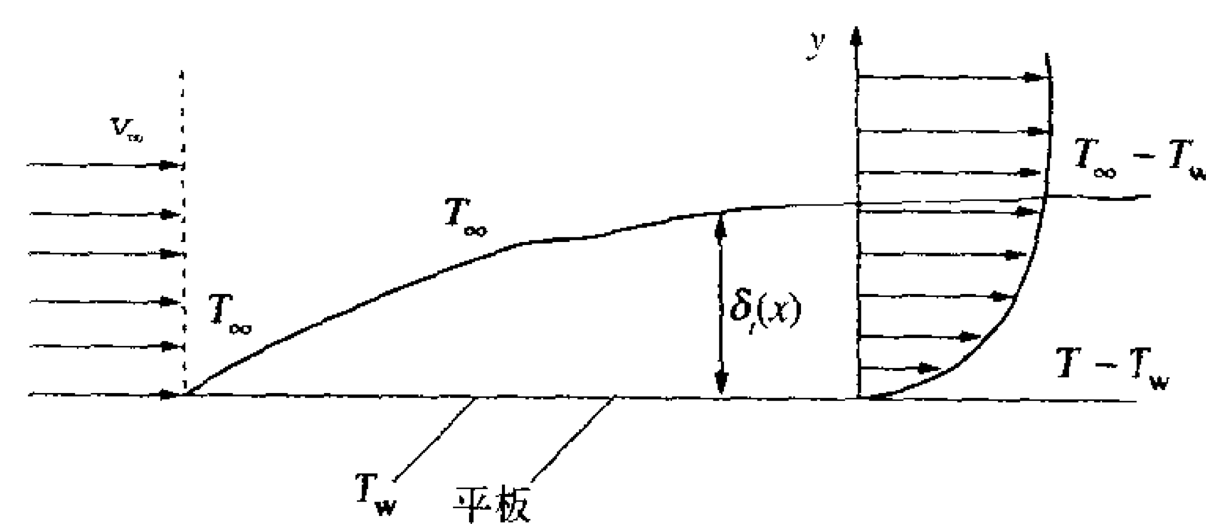


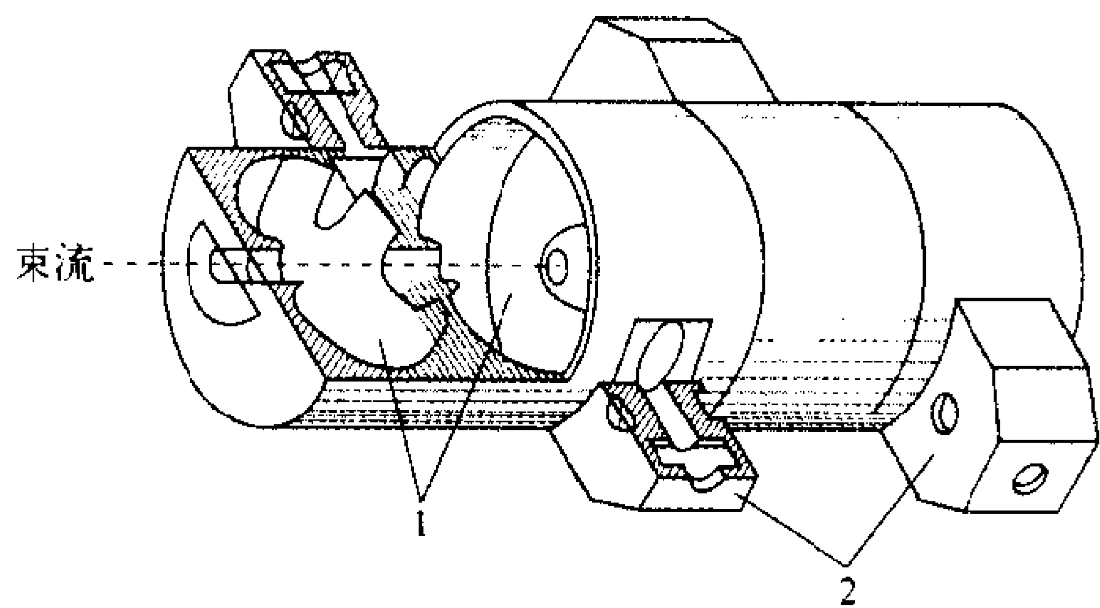
图 2　热流体沿冷板流动的温度边界层

度边界层（见图 2）。平板流体边界层一般包括层流边界层、湍流边界层和过渡区。流动边界层的厚度 δ 一般随流体黏度 v 的增加而增厚，随流速 v_∞ 的增加而减薄。温度边界层厚度 δ_t 与流动边界层厚度 δ 之比主要取决于流体的普朗特数 Pr。边界层在确定单相流动阻力和对流传热系数上具有实用意义。

（撰写：郝老迷　审订：陈玉宙）

bian'ouheqiang jiegou

边耦合腔结构 side coupled cavity linac (SCCL)　带电粒子加速器中由一系列加速单元腔和耦合单元腔构成的一种高稳定性双周期加速结构。为了缩短加速器总体长度，将耦合单元腔置于两个加速单元腔之间并放在束流线外而不占总体长



边耦合腔示意图
1—加速单元腔；2—边耦合单元腔

度，形成了边耦合腔结构（见图）。腔内不放聚焦磁铁，分路阻抗高，工作在 $\pi/2$ 模式，稳定性好，工作频率较高（一般为 700 MHz 以上），适用于加速高能质子，也可用于电子驻波直线加速器。为使结构具有尽可能高的品质因子及分路阻抗，可以将加速单元腔的内壁做成圆弧形。为使加速电场集中在腔的轴线附近，以得到较大渡越时间因子，将加速单元腔的中心部位做成"鼻锥"形。这种结构的弱点是加工困难且调试较为复杂。（撰写：罗紫华　审订：王传英）

bianzhiyan youkuangchuang

变质岩铀矿床 metamorphite uranium deposit　产于变沉积碎屑岩或变长英质火山岩中，呈大致连续的透镜体状或不规则状，与围岩整合产出的浸染状铀矿化体组成的铀矿床。铀矿化属同变质作用成因，铀矿物在高级变质相主岩中主要为晶质铀矿，在低级变质相主岩中则为沥青铀矿。此类矿床的矿石品位一般较低，为 0.01%～0.1%；规模较小（小于 1000 tU），除澳大利亚昆士兰州的玛丽·凯瑟林矿床外，都不具工业意义。

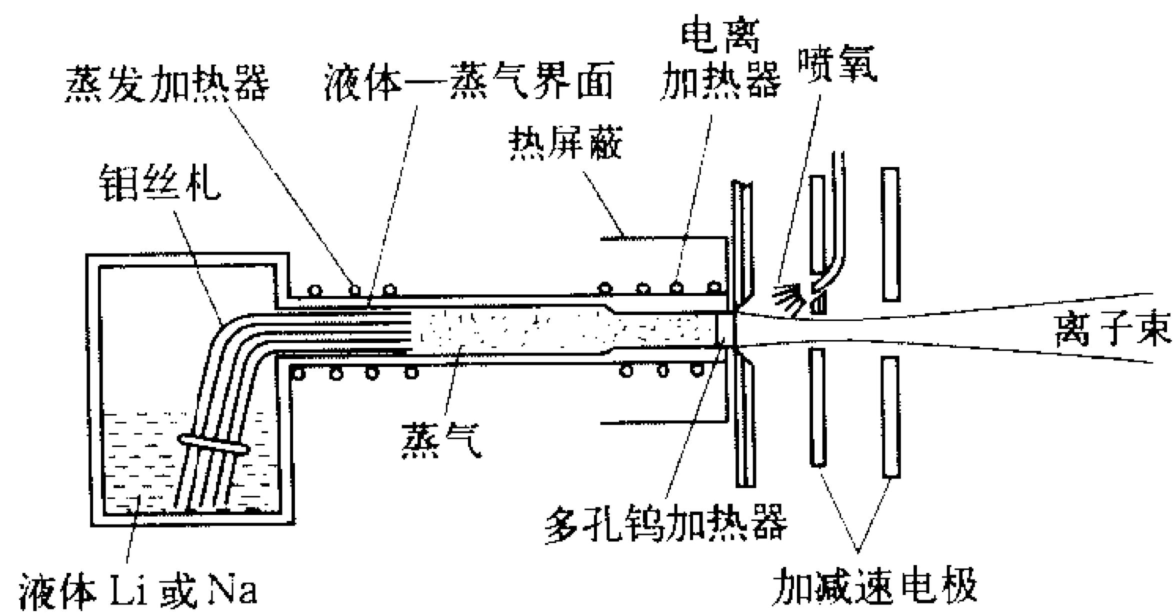
（撰写：陈祖伊　审订：赵凤民）

biaozhun jiliang ceding shiyanshi

标准剂量测定实验室 standard dosimetry laboratory　由有关国家机构指定用于开发、维持或改进辐射剂量测定用基本标准或二级标准的实验室。这类实验室属于国家一级或二级计量体系的范畴。（撰写：夏益华　审订：胡遵素）

biaomian dianli liziyuan

表面电离离子源 surface ionization ion source　利用表面电离现象，从高温金属表面蒸发、电离所吸收的原子或分子使其成为离子的装置。它分为产生正离子和负离子两种离子源。前者适合电离具有低电离电位的元素，如一些碱金属、碱土金属和稀土金属元素；同时高温电离器需要采用具有高功函数的材料，如钨、铼、铱或沸石（zeolite）（见图）。后者适合电离具有高电子亲和势的元素，如卤素元素；高温电离器材料



表面电离正离子源示意图

则要求其功函数低，如钨表面涂一层单原子铯，铂表面涂碳或 LaB_6。表面电离离子源的优点是引出离子的发射面稳定和元素选择性好，且适合通常处理比较困难的碱金属和卤素元素。其缺点是适用离子种类有限和热耗散太大。

（撰写：赵渭江　审订：关遐令）

B

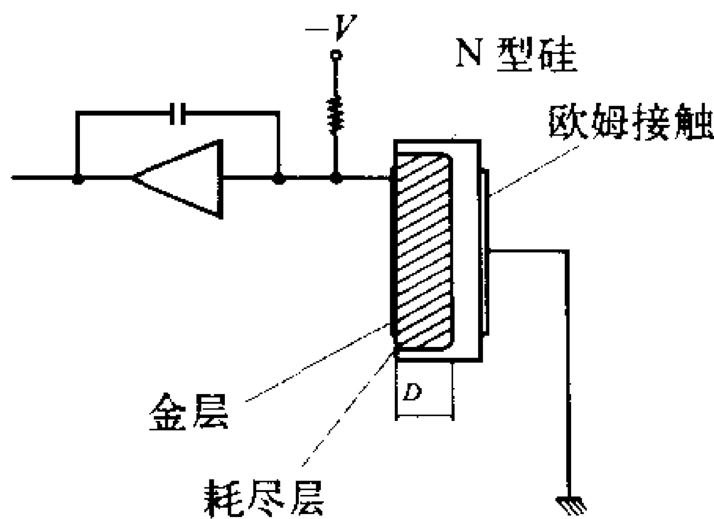
biaomian fangshexing huodu

表面放射性活度 surface activity　单位表面积上的放射性活度。其单位为贝可勒尔每平方米（$Bq\cdot m^{-2}$）。

（撰写：董柳灿　审订：潘自强）

biaomian shileixing bandaoti tanceqi

表面势垒型半导体探测器 surface barrier semicouductor detector　基于金属和半导体功函数之差，以半导体表面性质来构成势垒结的半导体探测器。在半导体表面上用真空蒸发沉积某种金属层形成整流接触（如 Au-Si表面势垒），在另一面上真空淀积另一金属（如N型硅上的铝层），或用化学方法镀镍形成欧姆接触构成的探测器（见图）。面垒探测器的整个工艺流程不涉及高温，半导体晶片能保持原来的良好的物理性能。它从开始至今已有 40 年，并实现了系列化（有部分耗尽型、全耗尽型、环形、长条形、优质和加强型等系列）。它固有噪声低，对带电粒子有极高的能量分辨，具有窗薄、线性好、成品率高、操作方便等优点。缺点是易受环境气氛的影响。（撰写：丁洪林　审订：李广将）



面垒探测器示意图

biaomian songsan wuran

表面松散污染 surface loose contamination　由于沉积、吸附和静电等作用所造成的物体表面放射性物质的非固定性污染。按污染机制，放射性污染可分为非固定污染、弱固定污染和固定污染三大类。表面松散污染属于第一类，主要是由于放射性固体微粒或放射性液滴沉积和附着作用，或者表面静电作用形成的放射性污染。因为表面松散污染容易造成放射性物质的扩散和转移，所以它的去除是去污工作首先要完成的步骤。表面松散污染容易除去。一般用机械法，如擦拭、真空吸尘、高压射流等方法均能达到良好的去污效果。

（撰写：罗上庚　审订：范显华）

biaomian wuran jiance

表面污染监测 surface contamination monitoring　对受放射性物质沾染的物体表面污染水平进行的监测。用于放射性工作场所对工作人员进行辐射照射的控制，以及防止放射性污染物质进入环境引起公众照射。表面污染监测确定单位面积上的放射性活度，以证实是否超过表面污染控制水平（导出限值）。表面污染可分为固定污染和可去除污染，在国家环境保护主管部门颁布的辐射防护规定 GB8703—88 中对工作场所的工作台、设备、墙壁地面的表面放射性物质污染的控制水平，对于放射性物质的安全运输中货包和运输工具表面放射性物质非固定污染限值均作了明确规定。在核设施去污与退役工程中，受沾染工具或材料去污后的再利用，特别对受沾

染土壤的去污及场地恢复、表面污染监测结果都是十分重要的判断依据之一。表面污染可以通过直接或间接的方法来测定。直接测量可用晶体或塑料闪烁体或电离室探头的可携式表面污染监测仪，它测定的是可去除污染与固定污染之和。间接测定通常采用擦拭法进行，试样需用液体闪烁计数器测量，适用于低能β粒子，如^{3}H，^{14}C，^{63}Ni，^{55}Fe等。它只能测定可去除污染。 （撰写：杨怀元 审订：赵亚民）

biaomian wuran jianceyi

表面污染监测仪 surface contamination monitor 测量物体表面放射性污染程度的辐射测量仪。根据污染辐射的种类不同，表面污染监测仪可以分为监测α污染、β污染和γ污染三大类，它们的探测器种类和探头结构各不相同。特殊设计的探测部件有可能同时分别监测不同种类的污染，例如α,β表面污染监测仪（见图）。测量时还必须注意这三类辐射在空气中的不同穿透本领，选择合适的距离污染表面的工作距离。为了提高监测工作的效率，表面污染监测仪的探头一般有较大的探测窗面积（如几十平方厘米到数百平方厘米）。其中专门用于地面污染检查用的叫做地面污染监测仪，其探测窗面积可以达到平方米的数量级，而且常装有便于在固定条件下移动的专门支架。出于污染巡测的需要，表面污染监测仪的监测结果除了可视性指示以外，通常都带有音响型指示部件（如耳机）。



α,β表面污染监测仪

图出处：该图由中国辐射防护研究院张延生提供。

（撰写：夏益华 审订：胡遵素）

biaomian wuran wuti

表面污染物体 surface contaminated object 物体本身不属于放射性物质，但其表面受到放射性物质沾染的固态物体。表面污染物体分为以下两类：Ⅰ类表面污染物体是指以下情况的固体：(1) 在可接近表面按 300 cm^2 平均（若表面积小于300 cm^2，则按该实际表面积平均，下同）的非固定污染，对β，γ及低毒性α发射体不超过 4 Bq/cm^2，对其他所有α发射体不超过 0.4 Bq/cm^2；(2) 在可接近表面按 300 cm^2 平均的固定污染，对β，γ及低毒性α发射体不超过 $4 \times 10^4 Bq/cm^2$，或对其他所有α发射体不超过 $4 \times 10^3 Bq/cm^2$；(3) 在不可接近表面按 300 cm^2 平均的非固定污染加上固定污染，对β，γ和低毒性α发射体不超过 $4 \times 10^4 Bq/cm^2$，或对其他所有α发射体不超过 $4 \times 10^3 Bq/cm^2$。Ⅱ类表面污染物体是指其表面的固定污染或非固定污染超过上述Ⅰ类表面污染物体规定的限值的固态物体，且：(1) 在可接近表面按 300 cm^2 平均的非固定污染，对β，γ和低毒性α发射体不超过 400 Bq/cm^2，或对其他所有α发射体不超过 40 Bq/cm^2；(2) 在可接近表面按 300 cm^2 平均的固定污染，对β、γ和低毒性α发射体不超过 $8 \times 10^5 Bq/cm^2$，或对其他所有α发射体不超过 $8 \times 10^4 Bq/cm^2$；(3) 在不可接近表面按 300 cm^2 平均的非固定污染加上固定污染，对β，γ和低毒性α发射体不超过 $8 \times 10^5 Bq/cm^2$，对其他所有α发射体不超过 $8 \times 10^4 Bq/cm^2$。

（撰写：董柳灿 审订：赵亚民）

biaosheng youkuangchuang

表生铀矿床 surficial uranium deposit 产于未（弱）固结的表生沉积物内呈层状产出的和产于源岩内受断裂构造控制的、年代很新的近地表的铀富集体。这类矿床的重要特征是铀几乎全部以铀酰矿物（主要）和吸附（次要）形式存在，不含钍。此类矿床是在不同地质—气候条件下铀被地表—地下水从源岩中迁出，并在一定的地球化学障上被捕获而富集成矿的。最重要的表生铀矿床是硬壳沉积岩（钙结岩、膏结岩）铀矿床。位于澳大利亚西部的太古代伊尔冈地块北部的伊利里铀矿床是典型的表生铀矿床。矿床产于切到基底太古代花岗岩和绿岩中的第三纪—第四纪表生河谷堆积物和干盐湖沉积物——钙结砾岩中。主要铀矿物为分散在土状钙结砾岩中的钒钾铀矿。铀矿石的平均品位为 0.15%。矿床探明品位高于 0.13% 的铀储量为 4.65 万吨，伊尔冈地区已知表生铀资源总量为 5.8 万吨。 （撰写：陈祖伊 审订：赵凤民）

bing ansuan dianzizixuan gongzhen jiliangji

丙氨酸—电子自旋共振剂量计 alanine-electron spin resonance dosimeter 用电子自旋共振谱仪，通过测量丙氨酸中因电离辐射作用产生的自由基的响应信号的大小从而测定吸收剂量的一种剂量计。电子自旋共振谱仪的工作原理为在强磁场扫描作用下，样品中的自由基（未成对电子）对某一频率的微波产生共振吸收，吸收信号的大小与吸收剂量（即自由基的多少）存在线性关系，通过标准剂量计校准可以测定吸收剂量。丙氨酸—电子自旋共振剂量计是一种非常有潜力的剂量体系，其主要优越性在于量程范围宽（可达 $1 \sim 10^5$ Gy）、经电离辐射产生的自由基具有长期稳定性、组织等效、非破坏性测量等。该剂量计通过邮寄达到量值传递的目的，1985 年被国际原子能机构（IAEA）定为国际间的传递标准剂量计，并制定了 IAEA 国际剂量保证服务计划（international dose assurance service，IDAS），对 IAEA 成员国中拥有 ^{60}Co 辐照装置并进行辐射加工的单位提供定期的剂量保证服务。

（撰写：陈云东 审订：丁声耀）

bodangqi

波荡器 undulator 见扭摆器和波荡器。

boli fuheti

玻璃复合体 glass composites 为改善玻璃固化体的导热性能和机械强度，将玻璃掺入金属（如铅、铝等）基料中而生成的复合体。高放废液有高的释热率，热量积累可能导致玻璃固化体温度升高。而玻璃体在较高温度下（> 400℃）容易析晶，导致玻璃固化体性能恶化。此外，玻璃固化体的抗冲击性能差，容易碎裂。把玻璃固化体浇铸成小珠或小球体，掺入熔融的铅或铝中，则可克服上述缺点。

（撰写：汤宝龙 审订：罗上庚）

boli guhua

玻璃固化 glass solidification；vitrification 把废物掺在玻璃基料中形成玻璃状固化体的过程。通常用于固化乏燃料后处理产生的高放废液。玻璃固化过程包括对放射性废液进行浓缩、煅烧，使其含有的盐分转化为氧化物，然后再与玻璃基料一起熔融，最终浇铸成玻璃固化体。由于玻璃固化体具有良好的抗浸出、耐辐照、耐热和机械稳定性，因而可以作为废物处置的第一道工程屏障包容放射性核素。玻璃固化技术于 20 世纪 50 年代开始研究，70 年代法国率先进入工业应用。现在较成熟的工艺有液态加料的电加热陶瓷熔炉法和回

转煅烧后熔融法。前者在单一的电熔炉内完成，称为一步法，以德国建在比利时的PAMELA为代表；后者则分别在回转煅烧炉和感应加热的金属罐内熔融来完成，称为两步法，以法国的 AVM 为代表。面临环境保护的挑战，具有良好稳定性及减容能力的玻璃固化技术得到人们重视，有了很大发展，如冷坩埚熔炉技术、流动玻璃固化装置、就地玻璃固化技术等。固化处理的对象已不仅是高放废液，而且用来处理低中水平放射性废物、超铀废物、混合废物和受放射性沾染的场址。　　（撰写：罗上庚　审订：孙东辉）

boli shanshuoti

玻璃闪烁体　glass scintillator　以二氧化硅为主要成分的无机闪烁体，用铈作激活剂，同时也都含有锂。玻璃闪烁体通过 ^{6}Li 俘获中子被用作具有许多理想特点的中子探测器，例如闪烁衰减时间短，温度性能好，慢中子探测效率高等。5 mm厚、

玻璃闪烁体的一般性质表

密度/(g/cm³)	2.3～2.6
熔点/℃	约1200
发射带/nm	395
闪烁衰减时间/ns	18～75
相对于蒽晶体的光输出/%	20～35
折射率	1.55～1.58

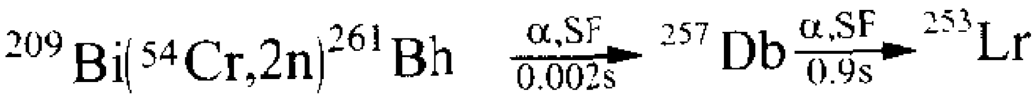
^{6}Li 丰度达 90% 左右的玻璃闪烁体的热中子探测器效率已接近 100%。室温下的一般性质见表。玻璃闪烁体适用于中子束强度绝对标定、飞行时间谱仪、中子照相及石油测井中。也可用于 α 粒子、裂变碎片及 γ 射线探测。它具有耐酸、耐碱、不潮解及耐温度骤变等优点，因此适用于恶劣环境下探测射线。　　（撰写：汲长松　审订：彭华寿）

bocaibi

剥采比　stripping ratio　露天采场每采出一个单位数量矿石需要剥离的岩石数量，单位为 m^3/m^3，m^3/t 或 t/t。铀矿剥采比有四个概念：(1) 平均剥采比，指露天开采境界内岩石总量与矿石总量之比值；(2) 境界剥采比，指露天开采境界每增加一个单位深度而引起岩石增量与所采出的矿石增量之比值；(3) 生产剥采比，指露天开采某一时期内所剥离的岩石量与所采出的矿石量之比值；(4) 经济合理剥采比，指露天开采在经济上最大允许的剥采比，它是确定铀矿露天矿最终境界的重要技术经济依据。露天铀矿计算露天采场境界一般以境界剥采比小于或等于经济合理剥采比来圈定境界，再以平均剥采比进行校核。由于铀矿属于贵重金属矿，采矿成本和售价均比其它金属矿山高，允许经济合理剥采比较大。经济合理剥采比一般为 5～8 m^3/t，境界剥采比一般为 4～5 m^3/t，平均剥采比一般为 2～3 m^3/t。　　（撰写：陈景良　审订：李开文）

bo

𨨏　bohrium　一种人工放射性元素，化学符号 Bh，原子序数 107，属周期系Ⅶ B 族。半衰期最长的同位素是 ^{264}Bh (0.44s)。为纪念丹麦物理学家 N.玻尔 (Bohr) 而命名。1976 年苏联 Г.Н.弗廖罗夫（Флёров）等用加速器加速的铬离子 (^{54}Cr) 轰击铋靶，通过下述核反应合成了 ^{261}Bh，并用测量 ^{261}Bh 衰变链子体的方法进行了鉴定

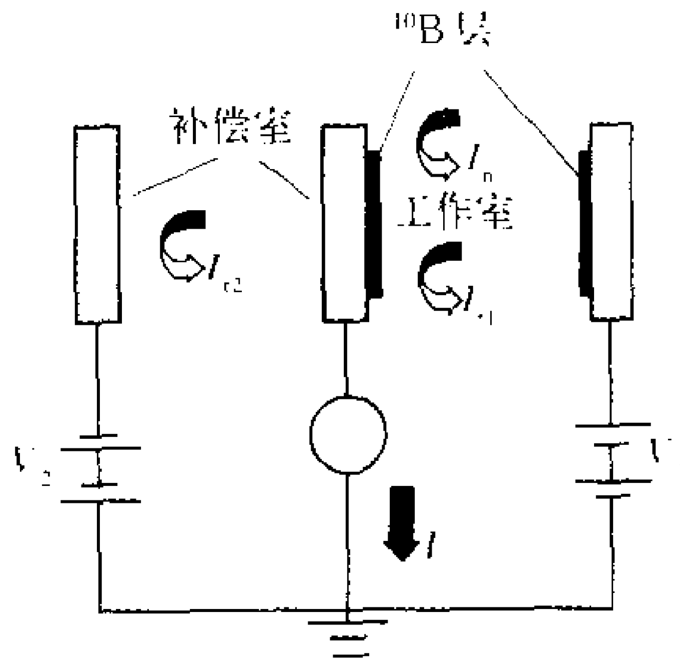


$$^{209}Bi(^{54}Cr,2n)^{261}Bh \xrightarrow[0.002s]{\alpha,SF} {}^{257}Db \xrightarrow[0.9s]{\alpha,SF} {}^{253}Lr$$

1981 年联邦德国 G.明岑贝 (Munzenborg) 等用加速的铬离子 (^{54}Cr) 轰击铋靶，通过核反应 $^{209}Bi(^{54}Cr,n)^{262}Bh$ 合成了 ^{262}Bh。　　（撰写：张志尧　修订：罗文宗　审订：崔安智）

buchang dianlishi

补偿电离室　compesation ionization chamber　一种可降低其他辐射对被测辐射信号产生影响的电离室。这种电离室设计有一个补偿室。补偿室仅对其他辐射灵敏，而工作室对被测辐射和其他辐射都灵敏，当两个室施加极性相反电压时，其他辐射引起的电离电流在外回路中被相互抵消，从而降低了其他辐射的影响。对其他辐射的影响可降低两个数量级。以 γ 补偿中子电离室为例，其结构原理如图所示：工作室内壁涂覆硼膜，要探测的热中子与硼膜中的 ^{10}B 发生 $^{10}B(n,\alpha)^{7}Li$ 核反应产生电离电流 I_n（参见衬硼电离室）。γ辐射在工作室和补偿室内产生电离电流分别为 I_{r1} 和 I_{r2}，由于两室的体积基本相等，气体成分和压力相同，施加电压 $V_1 = V_2$，则 $I_{r1} \approx I_{r2}$，因此电离室总的输出电流



γ补偿中子电离室示意图

$$I = I_n + I_{r1} - I_{r2} = I_n + \Delta I_r \approx I_n$$

为所要探测的中子引起的电流，从而原则上消除了 γ 射线的影响。　　（撰写：陆双桐　审订：杨继明）

bufuhexiang

不符合项　non-conformance　不符合既定要求的物项、服务或过程。因性能、文件或程序方面的缺陷，使某一物项、服务或过程的质量变得不可接受或不能确定。不符合项对安全的影响必须予以评价并报告相应层次的管理者。根据评价的结果，对物项必须确定是接受、拒绝、修理或重做；对服务或过程则要求确定为接受或拒绝。还必须对产生不符合的原因进行分析和认定，以防止再次发生，或予以改进。　　（撰写：董柏年　审订：张　健）

bukuosan hewuqi tiaoyue

《不扩散核武器条约》　Treaty on the Non-proliferation of Nuclear Weapons　防止核武器扩散的国际性条约，1968 年 6 月 12 日联合国大会通过，7 月 1 日在莫斯科、伦敦和华盛顿签署，1970 年 3 月 5 日生效，有效期 25 年，每 5 年举行一次审议大会。1995 年 5 月 11 日，在纽约举行的《不扩散核武器条约》审议与延期大会上，条约得以无限期延长。至 2000 年 4 月，共有 187 个国家加入该条约。条约由序言和 11 条正文组成。条约规定 1967 年 1 月 1 日前制造并爆炸核武器或其他核爆炸装置的国家为核武器国家；各有核武器缔约国承诺不向任何国家转让核武器或其他核爆炸装置及控制权，也不以任何方式协助、鼓励或引导无核武器国家制造或以其他方式取得上述武器或制造上述装置或取得其控制权；各无核武器缔约国承诺不从任何让与国接受核武器或其他核爆炸装置及此种武器或装置的控制权，不制造核武器也不要求任何人提供这方面的帮助每个缔约国承诺谈判制定关于早日停止核武器竞赛与核裁军的有效措施，以及在国际监督下普遍彻底裁军的条约。另外，本条约不影响各缔约国为和平用途

B

而研究、生产和使用核能的不可剥夺的权利，但进行一切和平核活动中，均应依据和遵守国际原子能机构的规约和安全保障制度，以防止核能由和平用途移作核武器或其他核爆炸装置。中国于 1992 年加入《不扩散核武器条约》。在条约的加入书中，支持条约确定的目标，即防止核武器扩散、推动核裁军、促进和平利用核能的国际合作，认为这三个目标是相互联系的，并强调防止核武器扩散本身并不是目的，而是实现全面禁止和彻底销毁核武器过程中的措施和步骤。

（撰写：段占元　审订：唐西生）

buming cailiaoliang

不明材料量　material unaccounted for (MUF)　核材料的账面存量与实物存量之间的差值。MUF（材料平衡）方程式通常写为：

$$MUF = PB + X - Y - PE$$

式中 PB 为本周期内期初实物存量；X 为存量增加的总和(根据情况，包括进口料、国内收料、核材料的产出量、重新保障的核材料、对收料的修正量)；Y 为存量减少的总和(根据情况，包括出口料、国内发运量、核材料的损耗量、测量过的废弃物量、豁免量、偶然损失量)；PE 为本周期内期末实物存量，同时也是下一个周期内期初实物存量。

（撰写：陈连仲　审订：李　泽）

butingdui huanliao

不停堆换料　on-power refueling　反应堆在功率运行状态下卸出核燃料并装入新燃料的换料方式。采取不停堆换料方式减少了停堆时间，提高了反应堆利用率。对于 CANDU 型重水反应堆，还可以提高燃料的平均燃耗，从而降低运行费用，降低发电成本。不停堆换料方式多在压力管式反应堆内采用，因为这类反应堆只有换料工艺管内的热工水力过程受到可控制的扰动，而其他不换料工艺管则不受影响，因此容易保证反应堆在换料过程中的安全。不停堆换料通常依靠专设换料机完成。例如卧式 CANDU 型重水堆两端各有一台换料机。在功率运行工况下，一台换料机将一束新燃料组件推入工艺管内，另一端的另一台换料机则接受被推出来的一束乏燃料。相邻工艺管作相反方向换料。此换料方式使 CANDU 堆的每束燃料组件基本上都可达到最大燃耗。在世界核电厂中，CANDU 型反应堆的利用率之所以处于前列，与其不停堆换料方式密切相关。　（撰写：刘国明　审订：侯忠松）

buwanquan jiti jiliang fudan

不完全集体剂量负担　incomplete collective dose commitment ($S_{c,t}$)　又称截尾集体剂量负担(truncated collective dose commitment)。对指定的群体来说，由于某一给定的事件、决策或实践所产生的在时间上持续进行的照射，所产生集体当量剂量率 $\dot{S}_T$ 在有限的一定时间 T 内的积分。表示为

$$S_{c,t} = \int_0^T \dot{S}_T(t)\,dt$$

单位为人·希沃特(人·Sv)。如果 T 是某一实践的持续时间，那么 $S_{c,t}$ 可以用来预测这种实践所产生的未来的最大人均年集体当量剂量率。如果将上式中集体当量剂量率 $\dot{S}_T(t)$ 改换成集体有效剂量率，则得出不完全集体有效剂量负担或截尾集体有效剂量负担。在正当性和最优化的研究中常采用这个量，而不是采用无限期的积分。在许多场合下，所需要的是比较若干种可供选择的决策所导致的短期效应，例如放射性废物处理的几种方案，使用该量可以得出比较的结果。

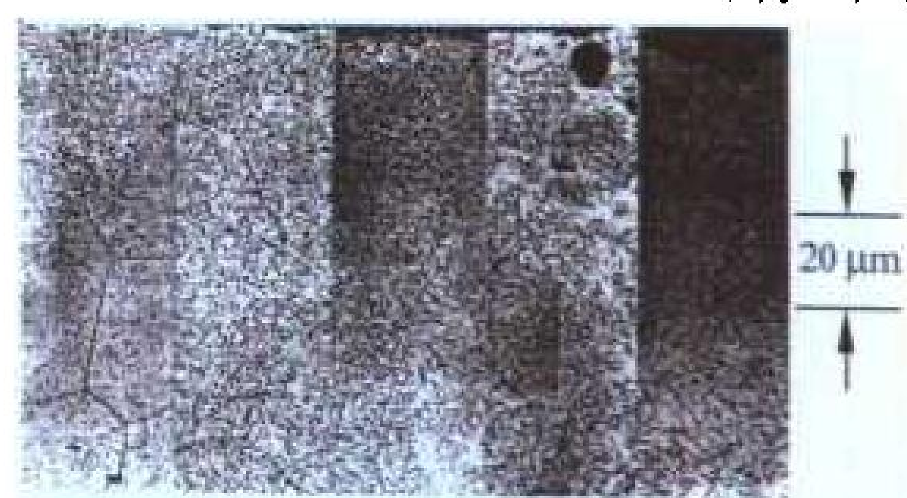
（撰写：董柳灿　审订：潘自强）

buxiugang baoqiao

不锈钢包壳　stainless steel cladding　燃料元件中包覆核燃料芯体的不锈钢外壳。由于不锈钢的热中子吸收截面较大，因此，它只用作快中子堆的燃料包壳。在快堆运行工况下，包壳承受高温、高中子注量率作用，除发生硬化、脆化、热蠕变、辐照蠕变和腐蚀外，最受关注的是辐照肿胀（参见辐照肿胀）。　（撰写：谢光善　审订：张忠岳）

buxiugang baoqiao yu na de xiangrongxing

不锈钢包壳与钠的相容性　compatibility of sodium with stainless steel cladding　不锈钢包壳与液态钠之间因发生化学相互作用而影响彼此性能的特性。该相互作用主要有：(1) 合金中的组分（铁、镍、锈等）被流动钠缓慢溶解，导致包壳表层铁素体化；(2) 在快堆一回路内发生的不锈钢增碳和脱碳（参见不锈钢的脱碳与增碳）；(3) 钠与不锈钢表面氧化膜的相互作用，造成包壳与绕丝的自焊。图中示出了相互作用后的显微组织。改善该相容性可采取：(1) 降低钠中的氧与碳的含量；(2) 选用稳定化或经过稳定化处理的不锈钢作包壳材料等办法。



316 SS 与 Na 发生相互作用后的显微组织（700℃ Na 中浸泡 10000 h）

（撰写：张汝娴　审订：李文埮）

buxiugang de tuotan yu zengtan

不锈钢的脱碳与增碳　carburization and decarburization of stainless steel　在液态金属快中子堆一回路内，高温区不锈钢部件的碳溶解到流动钠中，在低温区析出、沉积于不锈钢部件表面的现象。由于碳在固相中的扩散系数较高，使它向外扩散和向内渗透的深度都相当可观。碳对不锈钢的高温强度有重要作用，所以脱碳和增碳直接影响不锈钢部件的力学性能。例如，在回路低温区，增碳使中间热交换器材料的屈服强度增加、延伸率下降，在高温区，脱碳使燃料包壳内析出 σ 相，抵消脱碳后可能出现塑性增加。此外，脱碳会加速材料蠕变—断裂过程，降低抗氦脆的能力。采用稳定化不锈钢或加钛(铌)的非稳定化不锈钢都可缓解增碳与脱碳的作用。此外，降低钠中的碳含量也是至关重要的。

（撰写：张汝娴　审订：李文埮）

buzhenghe mianxing youkuangchuang

不整合面型铀矿床　uncomformity type uranium deposit　产于被中元古代红层上覆的早元古代变沉积岩中、变沉积岩和砂岩均发生强烈蚀变的铀矿床。国际原子能机构近期又根据不整合面的时代将其分为两个亚类：元古代不整合面型和显生宙不整合面型。这类矿床的产出环境有两种：产在不整合面以下的裂隙中的铀矿床，矿化一般为单铀，品位中等(0.25%～0.85%)；产于不整合面附近，受粘土化蚀变控制的铀矿床，矿化为多金属（富含铁、铜、钼、铅、钛、钒、锌、砷等），铀品位高(1%～12%)，资源量巨大(可达 15 万吨以上)，是当前世界铀生产的主要来源。加拿大和澳大利亚是产



不整合面型铀矿床剖面示意图

出元古代不整合面型铀矿床的主要国家。

（撰写：陈祖伊　审订：赵凤民）

bu

钚　plutonium　Ⅲ$_B$族锕系放射性元素，符号Pu，原子序数94。钚在自然界中仅随铀矿痕量存在。1940年西博格用氘轰击铀时发现^{238}Pu，同年费密确认^{238}U俘获中子生成^{239}Pu。迄今已发现的钚同位素有15种（^{232}Pu～^{246}Pu）。实用的钚都是由人工制造的。从辐照过铀燃料中分离钚，普遍采用以磷酸三丁酯为溶剂的普雷克斯流程。

钚在熔点913 K以下有六种相结构：α相（< 388 K，单斜，室温密度为19.82 g·cm^{-3}）；β相（388～458 K，体心单斜）；γ相（458～583 K，面心斜方）；δ相（583～725 K，面心立方）；δ'相（725～753 K，体心四方）；ε相（753 K～熔点，体心立方）。由于每个相的稳定范围狭窄，α，β，γ三相的各向异性严重，且均呈脆性，故其加工成形较困难。

钚是银白色金属，化学性质活泼，在空气中缓慢氧化，易与许多元素生成化合物或形成合金。钚粉末自燃温度低。钚原子的电子构型是(Rn) $5f^6 6d^0 7s^2$，在水溶液中有+3～+7五种氧化态，价态以Pu^{3+},Pu^{4+},PuO_2^+,PuO_2^{2+},PuO_5^{3+}形式存在，其中以Pu^{4+}为最稳定。

钚是短程的α发射体。钚的高质量同位素还放射低能γ和X射线，^{240}Pu还具有自发裂变性，裂变时放出中子。

钚是剧毒物质，吸入人体后在肺部、骨骼及造血组织沉积。其生物半衰期为200 a，人体内最大允许量仅为0.65 μg。钚的操作需在手套箱内进行。当钚中混有强γ放射性物质（如^{241}Am）时，必须要远距离操作，并设置适当的重屏蔽。钚的临界质量小，每次操作量有严格限制。

在钚同位素中，^{239}Pu是重要的核燃料和核武器装料；^{238}Pu可作为空间领域和心脏起搏器的能源。

（撰写：李文埮　审订：张忠岳）

bu baoliuzhi

钚保留值　retention of plutonium　保留在萃取溶剂中不能被反萃的钚量，是衡量溶剂降解程度的指标之一。以1 mL反萃后溶剂中含有钚的毫克数或10^9 L反萃后的溶剂中含有钚的摩尔数表示，有时也用钚在溶剂中的保留量与在溶剂中萃取量的百分比来表示。它可用于评价废溶剂再生处理的效果。

（撰写：张琴芬　审订：朱永赌）

bu de qihua

钚的歧化　disproportionation of plutonium　水溶液中钚离子在一定条件下自分解成不同价态的行为。歧化反应是指某种离子在一定条件下发生自氧化还原反应，其结果生成了比其自身价态低和高的两种离子。发生歧化反应的基本条件是作为氧化剂物种的离子对电位应高于其作为还原剂物种的另一离子对的电位。例如，$Pu^{4+}+2H_2O \rightleftharpoons Pu^{3+}+PuO_2^{+}+4H^{+}$，在1mol / L $HClO_4$溶液中，Pu^{4+}/Pu^{3+}离子对的电位为0.98 V，而PuO_2^{+}/Pu^{4+}的电位为1.17 V，两者之间电位差为－0.19 V，由此计算出的平衡常数$k = 7 \times 10^{-4}$。因此，可以判定在该溶液中Pu^{4+}歧化成Pu^{3+}和PuO_2^{+}的反应不会发生。四价钚离子另一歧化途径是生成六价钚：$3Pu^{4+}+2H_2O \rightleftharpoons 2Pu^{3+}+PuO_2^{2+}+4H^{+}$，其相关电位差为−0.061 V，由此求出的$k = 8.6 \times 10^{-3}$。在真实溶液中降低酸度会使上述电位差变为正值，说明第二种歧化可能会少量发生。　（撰写：何建玉　审订：朱永赌）

bu de tiaojia

钚的调价　adjustment of plutonium valance state　用化学或电化学的方法调节溶液中钚价态的过程。此过程在后处理中广泛应用，如在元件溶解液中把钚调成四价；在钚净化循环前，把进料液（2 AF）中的钚调成四价；在回流萃取流程中把部分反萃液（2 BP）中三价钚氧化到四价；草酸钚沉淀前的调价等。经典的普雷克斯流程中，加亚硝酸盐到硝酸钚溶液中以使Pu（Ⅲ）氧化成Pu（Ⅳ），并使Pu（Ⅵ）还原成Pu（Ⅳ）。NO_2（气体）、N_2O_4（液体）、H_2O_2也可调节Pu成四价。用电化学方法可以选择性地调节钚成三价、四价或六价。后处理中通过钚的调价和萃取，实现了钚的萃取回收和净化分离。

（撰写：何建玉　审订：朱永赌）

bu de zaixian dianjie huanyuan

钚的在线电解还原　on-line electrolytic reduction of plutonium　水法乏燃料后处理流程中，在铀、钚分离阶段，直接在设备中采用电解还原技术生成四价铀的钚还原过程。钚的电解还原是指在线直接还原，即在铀、钚分离的混合澄清槽或脉冲柱上直接设置阴、阳级，通以直流电，使铀、钚在阴极上直接还原以达分离目的。混合澄清槽可以是阴、阳级共区，也可设置独立的阴、阳室，用以克服还原后的物料再氧化。脉冲柱是中心设置阳极，外圈为阴极，其间用多孔陶瓷做隔膜。阳极材料一般采用金属铂或镀铂的钛材，阴极为金属钛。在线电解还原的优点是可节省设备费用，易于调控还原能力。

（撰写：何建玉　审订：朱永赌）

buhejin

钚合金　plutonium alloy　以钚为基，与其他元素组成的合金。α钚的优点是密度高。缺点是机械性能差，质地脆而硬。采取热处理又会引起物理损伤。但通过合金化可以改善金属钚的加工和使用性能。添加适当的铝、镓、锗和锌等元素可形成稳定的δ相钚合金。以镓的质量分数为1%的Pu-Ga合金为例，添加镓可把δ相稳定的温度区拓宽到室温。该合金由充氩电弧炉熔炼中间合金，再把它加入真空感应炉里的熔融钚液后制成。该合金的密度为15.76 g·cm^{-3}，抗拉强度为128.2 MPa，延伸率为25%。α相钚合金密度最高（19.38 g·cm^{-3}），临界质量约比δ相钚合金少25%。该合金可采用直接加入合金元素（原子分数为1%的Ti和U）配制，或将δ相钚合金在高压下转变而成。δ相钚合金和α相钚合金都是重要的核武器装料。（撰写：李文埮　审订：张忠岳）

bu jinghua xunhuan

钚净化循环　plutonium decontamination cycle　又称钚纯化循环。在水法后处理过程中，与铀和裂变产物初步分离的硝

B

酸钚溶液再次进行萃取分离，进一步除去铀和裂变产物，并将钚溶液加以浓缩的过程。钚净化循环是水法后处理中获取合格钚产品的一个重要环节。在普雷克斯流程的第一萃取循环（共去污循环）中，得到钚的初产品液，进入钚净化循环。钚净化循环由 2 A（萃取）和 2 B（反萃）两个萃取器组成。先对钚的初产品液进行钚和镎价态和酸度调节，进入 2 A 萃取器。2 A 槽萃取器由萃取段和洗涤段组成。在萃取段中，钚被萃取，少量铀同时被萃取，镎和裂变产物留在水相；在洗涤段中，用稀酸洗涤进一步除去镎、锆、钌等。2 B 反萃器由反萃段和补萃段组成。在反萃段中，钚被反萃到水相并得到浓缩；在补萃段中，反萃液中的少量铀重新萃到有机相中，提高了铀—钚的分离效果。从2 B槽流出的水相反萃液（2 BP）即为钚净化循环的产品液。（撰写：章泽甫　审订：朱永赡）

bu weiduan

钚尾端　tail end process of plutonium　在核燃料后处理流程中，经过主要化学分离之后，对得到的钚中间产品进行净化、浓缩以及转化为最终产品形态的一整套工艺步骤。中间产品 $Pu(NO_3)_4$ 溶液，如达不到净化要求，一般采用阴离子交换法进一步纯化。为了满足不同的需要，再将纯化的 $Pu(NO_3)_4$ 溶液进一步转化为 PuO_2、碳化钚或金属钚不同形态的最终产品，所采用的尾端处理步骤也不相同。以制备成 PuO_2 为例，有几种不同处理方法：(1) 先用草酸沉淀法得到草酸钚，然后再焙烧制得 PuO_2，这种方法产品性能好，过程容易控制，净化效果好。许多后处理厂都采用这种转化方法；(2)先用过氧化氢将钚沉淀为过氧化钚，沉淀经过滤、洗涤、干燥后焙烧成 PuO_2；(3) 先将 $Pu(NO_3)_4$ 溶液蒸发浓缩，再进行流化床脱硝，焙烧成 PuO_2；(4) 用微波脱硝由 $Pu(NO_3)_4$ 溶液直接制备 PuO_2。后两种方法取消了沉淀步骤，简化了流程，是很有应用价值的方法。（撰写：张先业　审订：朱永赡）

bu zaixunhuan

钚再循环　plutonium recycling　将从乏燃料中回收得到的钚在反应堆内再使用的过程。在反应堆运行中，^{238}U 吸收中子后可以转变成一系列的钚的同位素，其中 ^{239}Pu 和 ^{241}Pu 是易裂变材料。所生成的这些钚同位素，一部分在堆内作为燃料烧掉，一部分保留在乏燃料中。通过后处理将钚从乏燃料中提取出来，再做成燃料元件在反应堆中重新使用，实现核燃料的闭路循环，这将更有效地利用铀资源，节省为富集铀同位素所需要的分离功。乏燃料中回收的钚用作快中子堆燃料时，其燃料转换比可大于 1，以实现核燃料的增殖，更充分地利用铀资源。将 PuO_2 与 UO_2 制成混合氧化物（MOX）燃料，可安全地用于现有的轻水堆中，在轻水堆中 MOX 燃料装料小于 30% 的情况下，无须对反应堆的控制系统进行大的改动。目前正逐渐被世界各国采用。

（撰写：张先业　审订：朱永赡）



C xing huobao

C型货包 type C package 为用于运输大量放射性物质或高活性放射性物质而设计的包装。C型货包要求适用于所有放射性核素。它应按批准书所规定，不得装有：超过货包设计书所容许的放射性活度；不同于货包设计书所容许的放射性核素；在形态或物理化学状态方面不同于货包设计书所容许的内容物。 (撰写：董柳灿 审订：赵亚民)

cashi jianyan

擦拭检验 wipe test 用某种适当的擦子擦拭可疑表面，以检验其放射性污染水平的方法。由于各种设备、工具、墙壁、地面、衣具等在受到放射性污染之后，可以成为对人员内、外照射，或环境污染的重要来源。因此安全法规都要求对各种表面的污染水平加以控制。为了检查表面污染，可以采用合适的表面监测仪进行直接检验，其优点是比较快速和误差较小。擦拭检验是一种间接检验表面松散放射性污染的方法，其突出优点是能适用于一些不规则表面（如管道、泵、阀门等的内、外表面）的检验。其基本操作是：利用某种由合适的擦拭材料（如：滤布、棉花等）及其支架组成的擦子按预先规定的操作要求（如大致压力和移动速度，以及是否加湿等）对表面进行擦拭，然后把擦拭材料取下进行测量，再按预先实验确定的擦拭系数推算出被擦表面的污染水平。所谓擦拭系数，或称擦拭效率，是指通过擦拭操作由擦拭材料所能收集到的放射性污染活度占擦拭前被擦表面上污染活度的份额。显然影响擦拭效率的因素很多，主要来自两个方面：(1)表面污染特性，包括表面物料的光滑度、空隙性、放射性污染物的物化特性及污染过程、污染物与表面之间的相互作用等；(2)擦拭方法，包括擦拭材料、附加擦拭剂以及擦拭程序等。由于擦拭系数的不确定度一般较大，因此擦拭检验的结果误差一般也较大，对于某些过于简化的擦拭，只能提供定性或半定量的结果。 (撰写：夏益华 审订：胡遵素)

cailiao jianyan reshiyanshi

材料检验热实验室 hot laboratory for materials examination 简称热室。由多个厚屏蔽的封闭小室组成的专用于辐照过燃料和材料检验的实验室。为了屏蔽来自辐照过燃料和材料的强放射性，热室应由重混凝土或铸铁建造。热室内有不锈钢覆面，便于清洗去污。热室内保持负压，热室与周围环境隔离，并按放射性污染程度进行分区管理。操作人员在热室外面通过铅玻璃（或 $ZnBr_2$ 溶液）和主从机械手进行观察和测量



材料检验热实验室的操作区

等操作。热实验室备有各种测试、分析用的仪器设备。所有检验设备应由耐腐蚀材料制造，外表面抛光，易去污，并具有远距离操作、控制和显示功能。各热室由运输通道相通。热实验室还配制完善的通风、净化、运输、废水排放、废物收集、剂量监测、供配电及电视监控等辅助系统，以保证热实验室的安全运行。 (撰写：王树人 审订：李文琰)

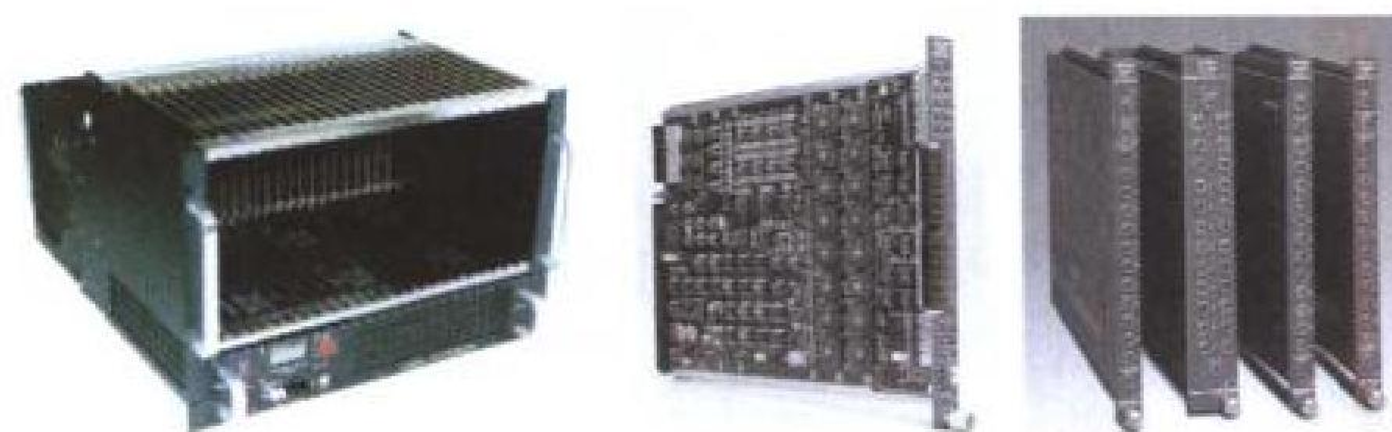
caiyang baochi dianlu

采样保持电路 sample-and-hold circuit 一种能在一定时刻将信号幅度信息予以保持的电路。采样保持电路的原理是：输入信号通过模拟开关加到充电电容上，模拟开关的通、断控制充电电容的充电和电位保持。在精确的时刻采样时，需要考虑电路的孔径时间及其晃动范围。电路的主要性能指标有：充电电容上电压的获取时间、下垂速率等。

(撰写：倪建平 审订：席德明)

CAMAC biaozhun

CAMAC标准 CAMAC standard (Computer Automated Measurement and Control standard) 一种计算机与其在线连接的设备之间交换数据的标准。以计算机自动化测量与控制标准的英文缩写词定名。1968年，由欧洲核电子学标准化委员会(ESONE)制定。不久，被美国核仪器插件(NIM)委员会和美国电气及电子工程师协会(IEEE)接受。1974年，由国际电工委员会TC-45技术委员会推荐为国际标准。CAMAC、标准



CAMAC机箱和插件实物图

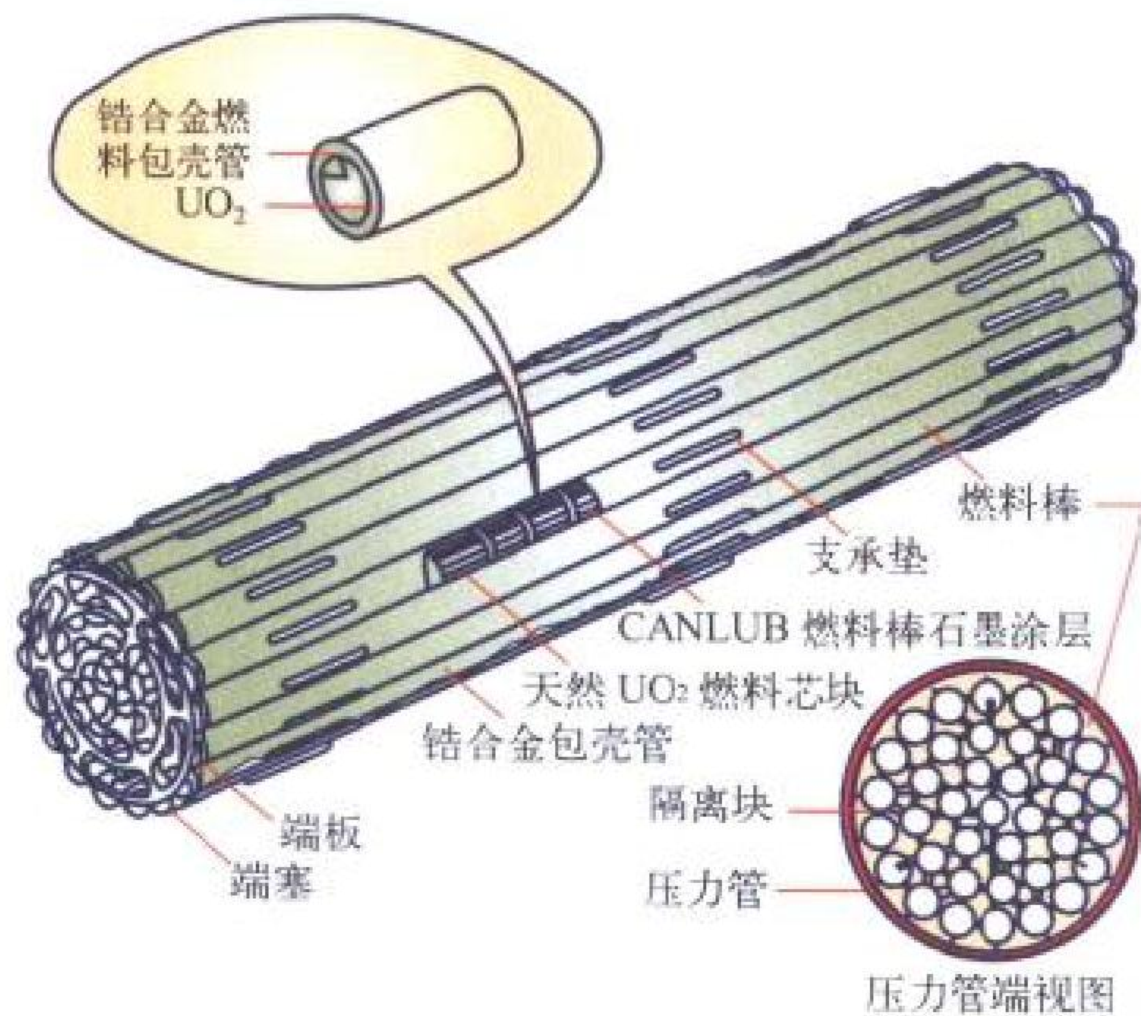
除了包括仪器机箱和插件的基本结构、尺寸、供电电压连接方式、信号输入输出等项标准外，其主要特点是具有数据总线标准（见图）。箱体中各个功能插件通过机箱控制器（以及分支驱动器）与计算机交换信息。数据采用负逻辑晶体管—晶体管逻辑电路(TTL)电平。1979年又增加了多机箱控制器标准，其主要特点为具有辅助机箱总线。

(撰写：李玉兰 审订：席德明)

CANDU xing zhongshuidui ranliao bangshu

CANDU型重水堆燃料棒束 CANDU-PHWR fuel bundle

用于CANDU型卧式重水堆由多根短燃料棒组装成的圆形棒束。燃料棒采用天然 UO_2 燃料（芯块呈圆柱形，一端有碟形凹陷，密度为95%～97%理论密度），Zr-4合金包壳（壁厚为0.38 mm）。在冷却剂压力下，包壳与燃料芯块直接接触。为缓和芯块与包壳相互作用，包壳内壁涂石墨，这类燃料棒以CANLUB命名。燃料棒外径约13 mm，全长495 mm。以CANDU-6型堆为例，每个燃料棒束由37根燃料棒组成（见图）。燃料棒作同心圆布置（由中心到外圈钎焊的按1，6，12，18根分配），其端部与锆合金端板焊接，棒间距由钎焊的隔离块保持。外圈燃料棒的外表面都有钎焊的锆合金支承垫，以确保棒束在燃料管道内的定位。棒束外径102.4 mm，全长495 mm。



CANDU-6燃料棒束

图出处：《中国电力百科全书》编辑委员会编.中国电力百科全书(第二版)：核能及新能源发电卷.北京：中国电力出版社，2001.469

（撰写：李文琰　审订：张忠岳）

cankao dianchang

参考电厂　reference plant　在总体性能、系统构成等方面可以作为拟建核电厂基本参考的已投运核电厂。它是以“交钥匙(turn-key)”或“切块分包(split package approach)”方式签订的商用核电厂采购合同中经常用到的术语。一般说来，供应商为显示其技术实力，在投标书中均以自己独立或为主设计供应的成功运行的佳品列为参考电厂。在最终签订的商务合同中所列的参考电厂则应取得采购方和供应方双方认可。一些国家在核电发展初期，特别是兴建第一座商用核电厂时，一般要求主供应商提出拟建核电厂的参考电厂。由于合同中规定的供货范围、服务内容、设计标准和技术水平等往往会不同程度地超出采购方的技术鉴别和商务控制能力。为了保护采购方的利益，避免投资风险，确保拟建核电厂的性能和完备程度，必须在合同条款中注明拟建核电厂的性能、系统及设备的质量(和数量)优于或不低于(或不少于)参考电厂的水平。但是，拟建核电厂不会也不可能与参考电厂完全一样。随着核电厂技术的进步以及考虑到厂址条件可能存在的差异，主供应商会根据具体情况采用不同的设计或不同的技术，这些都应在合同的技术附件中明确规定。在核电厂建造过程中还可能发生设计修改，也需要逐一经过采购方同意。

（撰写：张禄庆　审订：连培生）

cankao ren

参考人　reference man　某一特定的人群的解剖、生理等参数的调查统计值经科学分析及综合后形成描述该人群的形态特性、组织特性、生理和代谢特性等的数据库。参考人典型化了某一特定人群，并用于代表该人群，而不是指具体的人。参考人的内容主要包括解剖参数、生理参数、代谢参数、发育阶段的特性和主要影响因素等。参考人在辐射防护、放射医学、核医学及其他医药、卫生、保健、劳动、体育、服装、外贸等行业以及军用和民用产品的科研、设计中，都有着广泛的用途；特别在辐射防护中，辐射防护导则和基本标准的建立以及剂量的估算，均要以参考人为依据。国际放射防护委员会（ICRP）于1949年首次提出“标准人”(standard man)的概念；1963年ICRP第二专门委员会将“标准人”改称“参考人”；1975年ICRP第23号出版物正式提出“ICRP参考人”概念，即“参考人为生活在平均气温10～20℃，年龄在20～30岁、体重70 kg、身高160 cm的男性，并居住在西欧和北美，有当地生活习惯的白种人”。显然，这仅是针对在西欧和北美核设施和核企业工作的人员，有相当的局限性。为此，1987年ICRP第二专门委员会成立了工作小组，对第23号出版物进行修订，针对公众的需要增加各年龄段、男女两性的参数，并增加亚洲参考人的附录，扩大其代表性；当前一些在种族、地域、生活和饮食习惯等方面与西欧、北美有明显不同的国家和地区也正在开展参考人的编制工作。中国、日本和印度等国，已相继发表了有关这些国家人群的形态特性、组织特性、生理和代谢特性等资料。（撰写：陈如松　审订：孙世荃）

cankao shuiping

参考水平　reference level　在辐射防护管理中为决定采取某种行动而规定的水平。对于辐射防护中测定的任一种量都可以建立参考水平。达到或超过该水平时，则应采取某种相应的行动。这种行动可以是把测量值记录存档，或者进一步调查，乃至进行干预。相应的参考水平分别称为记录水平、调查水平和干预水平。在辐射防护中对辐射照射规定了辐射防护基本限值。但是为了进行更有效的辐射防护管理，规定了参考水平，这有助于判断是否需要在管理方面采取相应的措施。根据参考水平可以建立与实际测量结果直接相关的导出参考水平。　（撰写：马吉增　审订：张延生）

cankao wuzhi

参考物质　reference material　一种全面证实了其多种特性、用以校准计量器具、评价计量方法或给材料赋值的物质或材料。例如在环境样品的分析测量中，常用的参考物质有两类：一类是与被分析样品的基质成分和核素类型相同或相近的并经过准确定值的物质，例如直接采集的土壤或植物样品，经过制样后由多个实验室分析定值后的参考物质。另一类是选用被分析样品的基质材料加入已知量核素后经过制样与重新定值认证的物质。在制备这种参考物质时，只有在材料本底放射性水平极低并且不含准备掺入的放射性核素时，加入核素量值才能与重新定值数据保持一致。最常用的环境放射性参考物质有水溶液、底泥、土壤、奶粉、动植物灰样等。

（撰写：黄治俭　审订：赵亚民）

canyu dianzubi

残余电阻比　residual resistance ratio (RRR)　用于表征超导材料超导性能的一个重要的参量。金属材料的电导率随着温度的降低而增加，其原因是晶格振动的减弱。但是，材料中杂质散射的影响，使电导率的增加有了上限。由于电子是金

属材料中占支配地位的热载体，所以这个上限可以等效为材料的热传导能力。杂质的含量对纯铌腔的射频超导性能有重要的影响，引入残余电阻比（RRR）可以衡量高纯铌材的品质，RRR高的铌材具有高的热导，可以克服超导腔的热不稳定性问题，有利于极大的提高纯铌超导腔的加速梯度。纯铌的RRR理论极限为35000，目前大部分工业化制备的超导腔采用RRR为250～300的铌材。残余电阻比的一般定义如下

$$\mathrm{RRR}=\frac{\text{电阻率}(300\ \mathrm{K})}{\text{低温下电阻率(非超导态)}}$$

材料在直流下的室温电阻率与低温下的正常态电阻率的比值。但在实际测量铌材的RRR时，低温选择温度10 K，即超导材料在常温下的电阻与稍高于铌材超导点9.2 K的电阻比值。显然，残余电阻比越高，铌材的杂质含量越低，热导率越高。在4.2 K铌的热导率k(W/m · K)与残余电阻比的关系近似如下

$$k=0.25\ \mathrm{RRR}$$

（撰写：赵 夔　审订：王传英）

canyu fangshexing

残余放射性 residual radioactivity　人类实践活动造成的放射性污染，未经清除或经清除作业后，残留在不同环境介质中或表面的放射性。人类实践活动包括核武器制造和核试验、核能和核燃料循环活动、核技术应用和研究开发，以及非核工业与伴生放射性有关的活动等。环境介质包括水体、空气、河流、建筑物、道路和场地等。残余放射性随污染对象的不同有不同的表述方式，如表面污染用Bq/cm² 来表示，对均匀分布的介质用Bq/g或Bq/kg表示。

（撰写：李学群　范智文　审订：罗上庚　陈 式）

caozuo ganyu shuiping

操作干预水平 operational intervention level　相当于通用干预水平或通用行动水平的任何可测量的放射性量，它可以表示为环境、食物或样品中放射性核素的水平，或可测量的剂量率。在制定应急计划阶段就要求建立适合于核设施及其所在厂址条件的操作干预水平，并在事故期间根据实际的条件和监测结果对操作干预水平进行修正。

（撰写：陈竹舟　审订：施仲齐）

caozuo jianhu

操作监护 concurrent supervision of operations　又称监护验证。对如果操作不当会立即威胁核电厂的安全和可靠性的某些特殊作业（如在保护或控制机柜中安装临时跨接线、拆除电线或操作开关等），在进行操作的同时由另一位合格人员对其作业活动所进行的验证。（撰写：蔡康元　审订：钱锦辉）

caoshi paifang

槽式排放 release through tank　控制液载放射性向环境排放的一种方式，即待排放的液载放射性废液先贮存在一个槽形或罐形容器中，经对容器中的废水取样、放射性监测满足排放要求，并经相关部门批准后，方可实施排放。不满足要求的废液不准排放，要泵回净化处理设施进一步净化。对每一容器排放前的废液量，取样分析结果，排放时间，批准程序和人员，以及受纳水体情况要一一记录下来。实行槽式排放可以有效控制放射性物质向环境排放的速率和数量，可以防止误排，有利于保护环境。有液载放射性排放的单位均应实行槽式排放。在实行槽式排放中，一定要防止人为稀释。

（撰写：赵亚民　审订：潘自强）

caosuanbu chendian

草酸钚沉淀 precipitation of plutonium oxalate　乏燃料后处理过程中将钚从硝酸水溶液中以草酸盐的形式沉淀下来的工艺过程。草酸钚沉淀分Pu（Ⅲ）草酸盐沉淀和Pu(Ⅳ)草酸盐沉淀。草酸Pu(Ⅲ)沉淀是先将Pu(Ⅳ)还原为三价，调整硝酸浓度，而后加入草酸，即可生成为草酸钚（Ⅲ）的九水合物$[Pu_2(C_2O_4)_3\cdot 9H_2O]$沉淀。控制适当的工艺条件，可得到易于澄清和过滤的沉淀，而且对杂质去污效果好，钚的损失小。草酸钚（Ⅳ）沉淀是将草酸加到Pu（Ⅳ）的酸性溶液中，使Pu（Ⅳ）形成黄绿色的草酸钚六水合物$[Pu(C_2O_4)_2\cdot 6H_2O]$沉淀。通过调节工艺条件，如硝酸浓度、草酸用量和加入速度、温度、搅拌强度、熟化时间等因素可以控制沉淀颗粒大小，减少Pu（Ⅳ）在母液中的损失。这种方法的优点是：工艺过程稳定，便于工业化连续生产；钚的净化效果好，对铁、锆等元素净化系数较高；煅烧成的PuO_2产品活性适中，能满足后续工序的生产要求。世界上许多后处理厂都采用草酸钚（Ⅳ）沉淀法作为钚的转化方法。

（撰写：张先业　审订：朱永赌）

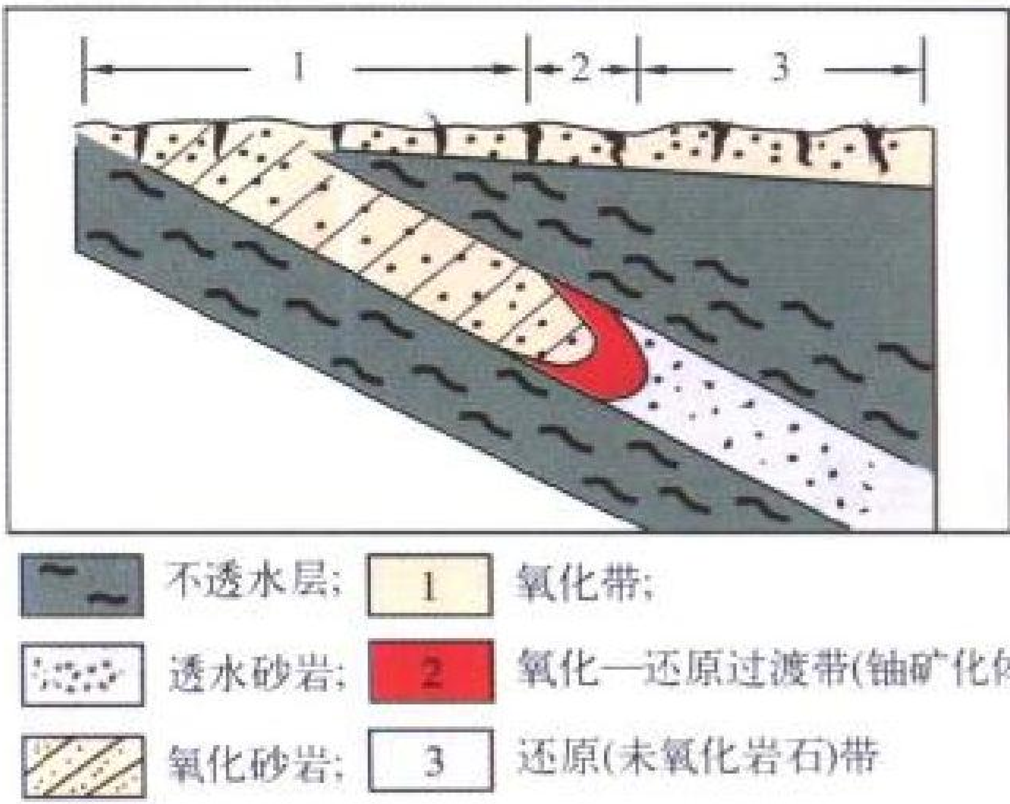
cengjian yanghuadai

层间氧化带 interlayer oxidation zone　在自流盆地含水层中含氧承压水由水难以交替带顺层渗入活动而形成的地球化学蚀变带。层间氧化带上、下均有弱或不透水层所屏蔽，在剖面上呈长舌状，沿地下水运动方向上可分为：完全或部分氧化带，氧化—还原过渡带和还原带（原生未氧化岩石带）。层间氧化作用为铀和其他一些稀有、稀土元素的淋滤、迁移和富集提供了极为有利的水文地球化学环境。铀矿化大都位于氧化带前部的尖灭端，矿体在剖面上呈卷状。

（撰写：胡绍康　审订：赵凤民）

cengjian yanghuadaixing shayan youkuangchuang

层间氧化带型砂岩铀矿床 interlayer oxidation zone type sandstone uranium deposit　产于两个不透水岩层（如泥岩）之间的透水砂岩中的、由于携铀的含氧承压地下水沿透水砂岩向下方运移而发生层间氧化，并在水中自由氧耗尽的氧化带前锋处铀被还原而沉淀富集形成的铀矿床。此类矿床的矿化体在地表的投影呈不规则的蛇曲状，在剖面上则呈现为向地下水流动方向突出的新月型，故层间氧化带型砂岩铀矿床又称“卷型”铀矿床。



层间氧化带型砂岩铀矿床剖面示意图

（撰写：陈祖伊　审订：赵凤民）

C

chaichu

拆除 dismantling 又称拆卸。核设施退役中将设备、阀门、管件、仪表等从系统中拆下来的过程，有时也包括建筑物的拆除。拆除可在退役开始时立即进行也可延迟进行。通常在去污后先将建筑物内的设备进行拆除，在退役的最后阶段再将建筑物本身进行拆除。在拆除前必须切断所有的公用设施（如水、电、蒸汽等）与待拆除设备的联系，以保证工作人员的安全。对拆除作业区要进行隔离、封闭并严格控制出入口。当拆除会产生气溶胶和微尘时，应设置专用排风系统。制定退役计划时应考虑对现有建筑物的充分利用，如将贮藏室改为污染设备去污前的存放、分类场所和集中分割站等。还应对原有的公用设施如供电、采暖通风和空调的拆除作周密考虑，以免日后再安装临时照明、通风和供电线路。



设备拆除图例

（撰写：王显德　审订：孙东辉）

chanza gaixing jinshu

掺杂改性金属 impurity modified metal 掺入某些微量杂质以改善其材料性能的金属。如钢铁材料，通过微合金化可使钢铁材料的强度和韧性均显著提高。为改善切削性能，钢材中添加适量的硫、钙等杂质，可改善切屑的破断性能，亦可提高刃具寿命和降低切削粗糙度。在聚变堆中，普通材料难以满足高温性能要求。近年来，研制出了多种掺杂改性的第一壁结构材料、偏滤器结构材料和面对等离子体材料，如氧化物弥散增强（ODS）的铁素体钢、导热性能优良的 ODS 铜合金和 Y_2O_3 改性的钨合金等。

（撰写：谌继明　审订：钱尚介）

chanchuan cailiao de fuzhao xingwei

产氚材料的辐照行为 irradiation behavior of tritium producing materials 含锂材料在中子辐照下的辐照肿胀和其他性能的变化。由于 ^{6}Li 和 ^{7}Li 与中子反应，产生氚和氦，使材料性能发生变化。氚在材料中的溶解度与材料种类有关（参见*氚贮存材料*和*氚在材料中的行为*）。氦在材料中的溶解度很小，通常氦原子通过扩散，在位错、晶界和第二相界面上形成氦泡，并逐渐长大，造成肿胀和脆化。影响材料辐照肿胀的因素很多，主要与辐照产生的氦量、辐照温度、材料的微观组织等因素有关。辐照肿胀导致热导率降低、强度降低，辐照脆化会引起产氚材料的碎裂和粉化。

（撰写：卢浩琳　审订：韩延德）

chanchuan de yetai jinshu

产氚的液态金属 liquid metals for tritium production 锂或含锂的低熔点合金，主要用于聚变堆产氚。对含锂液态金属，要求熔点低、沸点高、氚提取容易、与材料相容性好。目前含锂液态金属有锂（熔点 181℃），83% Pb–17% Li 合金（熔点 235℃），此外，还有 FLiBe（LiF–BeF_2 熔盐）。产氚液态金属的优点是：不存在材料的辐照损伤，化学稳定，容易维护。充分利用液态金属高导热性和大热容量，可兼作聚变堆的冷却剂，使聚变堆结构紧凑。用液态锂作产氚材料优点是：氚在液态锂中的溶解度高，氚的渗透泄漏损失少。缺点是：氚的提取比较困难。用 Pb–Li 合金作产氚材料，由于铅是中子倍增材料，可提高产氚率，与空气、水不产生有害反应。缺点是氚在 Pb–Li 合金中的溶解度低，氚的渗透泄漏量大。此外，液态锂和 Pb–Li合金对结构材料的腐蚀也是一个难题。FLiBe合金的熔点高（460℃），含氟，对结构材料腐蚀问题严重。含锂液态金属在聚变堆强磁场中流动，会产生磁流体动力学（MHD）效应，使液态金属流动阻力增加。

（撰写：卢浩琳　审订：韩延德）

chanchuan fangfa

产氚方法 methods of tritium production 人工生成和提取氚的方法。氚在自然界中的储量极少，主要借助加速器和反应堆通过核反应产氚。前者通过（1）$D+{}^9Be \longrightarrow {}^8Be+T$；（2）$D+D \longrightarrow T-p$；（3）$p+{}^4He \longrightarrow T+2n$ 等核反应生产氚；后者主要借助（4）$D(n,\gamma)T$；（5）$^6Li(n,\alpha)T$ 核反应生产氚。加速器产氚不会产生超铀元素和裂变产物，不存在临界事故，安全性好，主要问题是工业化生产的技术不成熟。当前工业上产氚仅利用反应（4）和（5）。反应（4）即重水反应堆产氚（参见*重水提氚*）。利用 $^6Li(n,\alpha)T$ 反应产氚包括靶件辐照、氚提取、氚纯化、贮存和运输等步骤。由于 ^{6}Li 的热中子吸收截面大(945b)，而且 ^{6}Li 的富集技术已很成熟，因此世界各国都用含高富集度 ^{6}Li 的合金或陶瓷，做成靶件在反应堆中辐照，吸收中子后生成氚。氚的提取原理是基于氚在材料中高扩散特性。提取时可采取不熔或熔融两种状态。通常要用氦气作载气。提取的氚还需要纯化，把 H_2、D_2、^3He、^4He、O_2、N_2 和水蒸气分离掉，其纯度才能满足核武器和聚变堆燃料的要求。纯化方法有化学法、电磁同位素分离法、热扩散法、钯热置换法、金属氢化物分离和蒸馏法等，工业上常用的是热扩散法和钯热置换法。

（撰写：卢浩琳　审订：韩延德）

chanchuan jubiandui

产氚聚变堆 fusion reactor for tritium production 利用聚变反应堆包层很强的中子增殖能力进行氚生产的反应堆。产氚聚变堆包层能最大限度地增殖中子以生产氚。主要反应为 $D(T,n)\alpha$，$^6Li(n,\alpha)T$，总反应为 $D+T+{}^9Be+{}^6Li \longrightarrow 0.9T+2{}^4He+24.5\ MeV$（已经扣除作为燃料循环的一个氚原子）。每次聚变反应释放的能量比裂变少，但其中子产生率高。产氚聚变堆概念初见于 20 世纪 80 年代，90 年代受到重视。由于氚的半衰期较短（12.3 a），同时氚又是核敏感物质，国际上对产氚聚变堆的设计较为谨慎，它对聚变反应堆芯的要求比较低，规模可根据需要确定，与其他生产氚途径相比，具有独特的优势。

（撰写：何开辉　审订：钱尚介）

chan'e

产额 yield 同位素生产中在给定的辐照条件（如入射粒子注量率、照射时间等）下，入射粒子在靶中引起核反应而生成某种核素的量与所用靶料量之比。在核反应堆中照射靶时，生成核素的产额与入射中子的注量率与能量、反应截面、靶原子数目、照射时间以及生成核素的半衰期等有关。

（撰写：吕延晓　审订：卢玉楷）

changqi fanghu xingdong

长期防护行动 long-term protective action 在核事故应急

响应中很可能要在较长一段时间（几个星期、几个月甚至几年）里实施的防护行动。这些行动包括临时性避迁、永久性再定居和食物与饮水的控制，也包括实施土地去污或其他农业对策。实施长期防护行动的目的是通过减少公众受到的辐射照射以降低随机性健康效应的发生率。为了有效实施长期防护行动，应制定比较详细的应急环境监测计划，包括地面污染监测计划与食物采样与分析测量计划。

（撰写：陈竹舟　审订：施仲齐）

changqi fanghu xingdong jihuaqu

长期防护行动计划区　longer-term protective action planning zone　在某些核设施（主要是核电厂）周围建立的，计划在事故时有效采取防护行动以减少由地面沉积和食入途径产生的长期剂量的区域。这是国际原子能机构目前推荐的新的应急计划区类别中的一种。该区的含义类同于食入应急计划区，但名称较为确切。（撰写：陈竹舟　审订：施仲齐）

changqi jianhu

长期监护　long-time supervision　对铀矿冶废物的辐射防护管理手段。例如，铀尾矿虽然放射性活度不甚高，但是半衰期可长达上亿年，所以从防止环境污染和保护公众健康出发，必须采取有效措施，使之长期与生活环境安全隔离，为保证其治理措施安全有效，必须进行长期监护。监护就是监测、巡查和维护的总称。监测的作用是测量一些规定的指标是否达到；巡查是检验安全措施是否完好，检验治理工程设计和技术措施的有效性，废物处理处置设施完整性和有效性，万一出现问题，或认为可能出现问题，必要时提出进行修复的建议，写出报告，并进行维修。监护工作在移交前由业主／经营者／管理者负责进行。移交后，地方主管当局将负责对此继续进行监护。

（撰写：潘英杰　审订：赵亚民）

changshouming dizhongfang feiwu

长寿命低中放废物　long lived low and intermediate level waste (LILW-LL)　含有长寿命放射性核素，其数量或浓度足够高，要求同生物圈长期隔离的放射性废物。全称长寿命低、中水平放射性废物。“长寿命核素”指的是半衰期大于 30 年的核素。国际原子能机构 1994 年发布的《放射性废物分类》安全导则 No.111 — G — 1.1 规定，长寿命低中放废物含有的长寿命放射性核素的浓度高于短寿命低中放废物的限值，即长寿命 α 辐射的放射性核素在单个废物包中超过 4000 Bq/g，平均每个废物包超过 400 Bq/g。长寿命低中放废物含有大量的长寿命放射性核素，需要与生物圈长期隔离。典型的隔离方式是将长寿命低中放废物处置在几百米深的地质层中。

（撰写：罗上庚　审订：孙东辉）

changqu yingji

场区应急　site area emergency　核事故与辐射应急响应中的应急等级之一，对应于造成公众或场内人员的安全水平有显著下降的事件。对于核电厂，这些事件包括：为反应堆堆芯或大量乏燃料提供保护的水平有明显下降；任何进一步的故障都可能造成堆芯或乏燃料损坏的工况；高的厂区内剂量。在这个等级下，应当采取行动以控制场内人员的剂量，并应当为场外采取防护行动作出准备。

（撰写：施仲齐　审订：陈竹舟）

changsuo jianceyi

场所监测仪　workplace monitor　用于监测放射性工作场所中辐射水平或污染水平的仪器、仪表。按监测对象分，可以细分为监测外照射、空气污染和表面污染三大类；按工作方式分，可分为固定式和移动式（或可携式）（见图）两大类，其中固定式监测仪常常是连续工作的。对场所监测仪的特性要求，应根据所要监测的照射途径、辐射种类和特性，以及监测仪的使用条件等因素来确定，但是它们应当满足一些基本的共同要求，主要包括：(1) 它们的测量量程应满足覆盖该工作场所可能遇到的整个测量范围；(2) 应具备适当的视听报警功能和超量程指示功能，当出现异常辐射情况时能发出视听警报，并把警报保持到人工复位为止；(3) 作为质保要求的一部分，能经常对其电池状况、读数零点和响应能力进行现场检验；(4) 使用条件（包括环境条件）方面的要求。



多功能辐射监测仪



电离室型巡测仪

（撰写：夏益华　审订：胡遵素）

changguidao

常规岛　conventional island (CI)　核电装置中汽轮发电机组及其配套设施和它们所在厂房的统称。常规岛的主要功能是将核岛产生的蒸汽的热能转换成汽轮机的机械能，再通过发电机转变成电能。在压水反应堆核电厂中，常规岛的工艺系统也称为核电厂二回路系统。它的主要工艺系统有主蒸汽系统、主给水系统、汽水分离再热系统、凝结水系统、高压加热水系统、低压加热水系统、辅助给水系统、辅助蒸汽系统、疏水系统和常规设备中间冷却水系统等。二回路主要设备有汽轮机、发电机、凝汽器、汽水分离再热器、高压加热器、低压加热器、除氧器及其水箱、凝结水泵及主给水泵等。常规岛厂房主要有汽轮机房、冷却水泵房和水处理厂房、变压器区构筑物、开关站、网控楼、变电站及配电所等。CANDU 型重水堆核电厂不单独分出的常规岛，其汽轮发电机组和相关辅助设施均包含在核电厂配套设施中。

（撰写：侯忠松　审订：刘国明）

changgui jiance

常规监测　routine monitoring　辐射防护管理中不专门考虑当时正在进行的具体操作，而按预先规定好的程序规律性地进行的一种监测。由于进行常规监测的时间与正在进行的操作步骤无关，因此常规监测是针对正常运行（操作）情况下持续地存在着的受污染或受照射的可能情况而进行的监测。按监测对象的不同，常规监测可以分为常规环境监测、常规流出物监测、常规工作场所监测、常规个人监测。

（撰写：夏益华　审订：胡遵素）

changgui paifang

常规排放　routine release　核与辐射设施在正常运行情况下，有计划、有控制并对其进行监测的向环境排放放射性流出物的行为。正常运行情况指非事故工况下的运行，包括预期事件情况下的运行。有计划系指排放按事先规划好的程序和

条件进行排放。对核设施的排放实行总量控制，审管部门对其经气、液途径排放的放射性核素数量每年规定一个限值。排放单位根据审管部门批准的年排放限值，依据其生产情况对排放的次数、数量和浓度控制等应事先作出规划和安排。有控制排放指在排放中如发现异常情况，如放射性浓度超出预定范围，有办法发现，有措施停止排放，有办法把不合理的排放物返回废物处理工号进行净化。对其进行监测指在排放过程中，需进行放射性测量。首先，对待排放的流出物在进入总排管前应取样分析，确认是否满足排放要求；在排放中仍需进行连续或等比取样测量。以上诸项措施可保证常规排放的安全进行。此外，针对核设施的常规排放情况，有时还需在排放口附近进行环境放射性监测。

（撰写：赵亚民　审订：潘自强）

changgui youziyuan

常规铀资源　conventional uranium resources　具有一定生产历史的、铀作为主要产品、共生产品或作为重要副产品（如南非金生产的实例）可回收的资源。属于常规铀资源的铀矿床类型有：(1) 与不整合面有关的矿床；(2) 砂岩型矿床；(3) 石英—卵石砾岩型矿床；(4) 脉型矿床；(5) 角砾杂岩型矿床；(6) 侵入岩型矿床；以及其他如磷块岩型、塌陷角砾岩筒型、火山岩型、表生型、交代岩型、变质岩型、褐煤型、黑色页岩型等类型中某些被选定类型。

（撰写：胡绍康　审订：赵凤民）

chaobu yuansu

超钚元素　transplutonium elements　见超铀元素。

chaodao hefushe tanceqi

超导核辐射探测器　superconductor nuclear radiation detector　利用超导体所特有的物理现象及各种结构来构成的核辐射探测器。它有三种（结构）类型：一是超导隧道结 [superconductor tunnel junction (STJ)]，二是桥结（josephson bridge junction），三是超导胶体（superconductor colloid）。它们的特点是能量分辨率高，例如 SnSTJ 对 ^{55}Fe5.9 keV，工作在 0～4 K，半高宽（FWHM）为 48 eV。三种超导体探测器的结构和工作模式图解见图 1～图 3。

（撰写：丁洪林　审订：李广将）

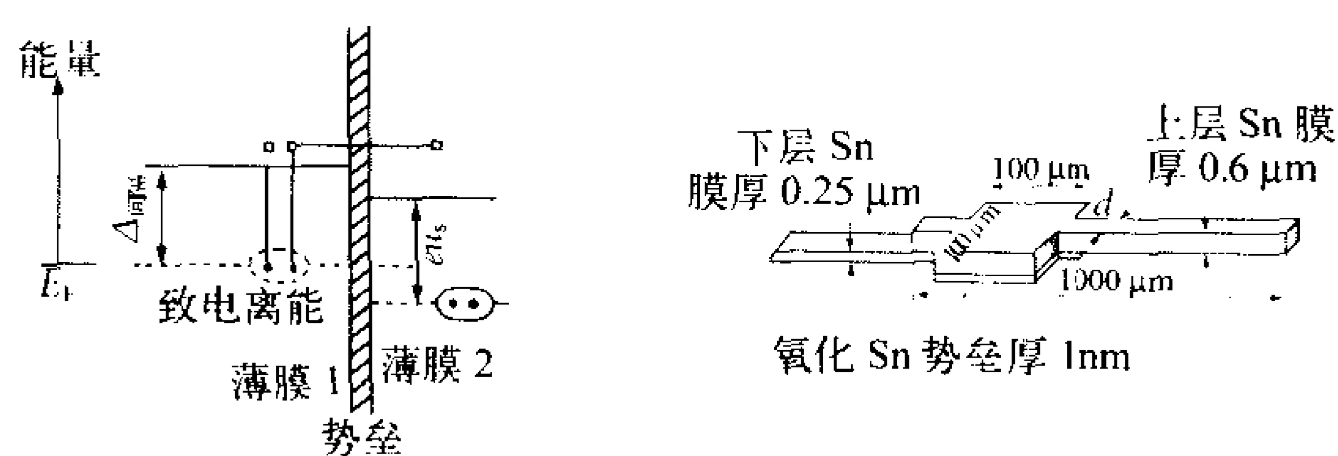


图 1　Sn 超导隧道结的结构和能带图
□—准粒子；⊙—库珀对

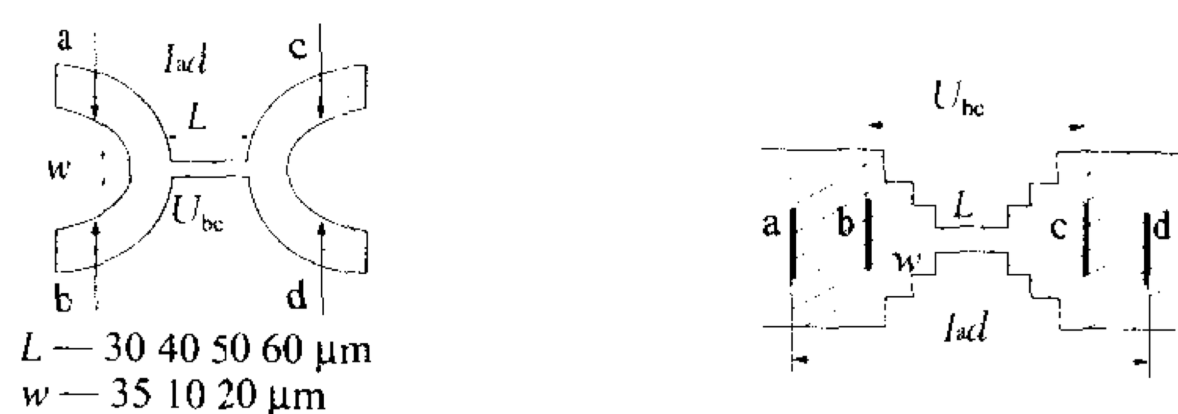


图 2　用于高 T_c 超导体核辐射探测器研究的桥结示意图

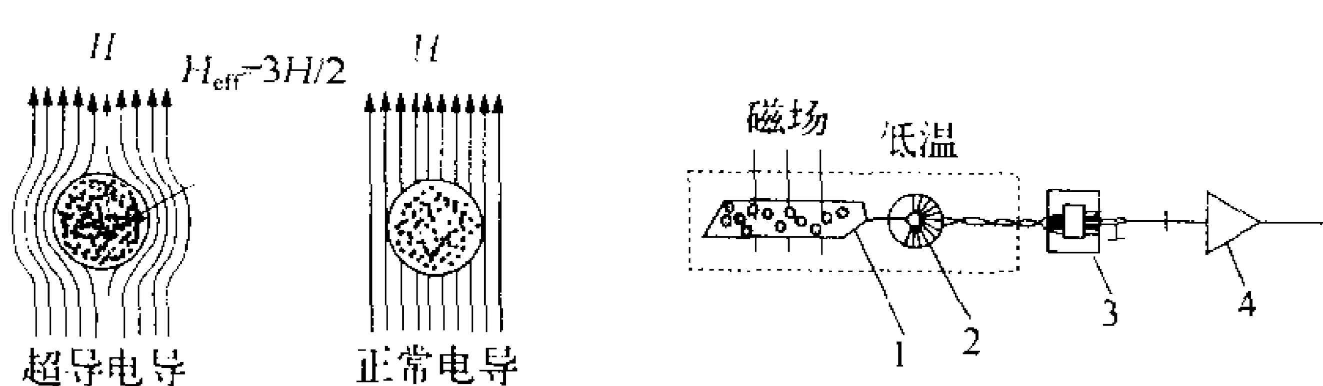


图 3　SCD 探测器的工作模式图解
1—SCD 探测器；2—第一级耦合线圈；3—变压器；4—前置放大器

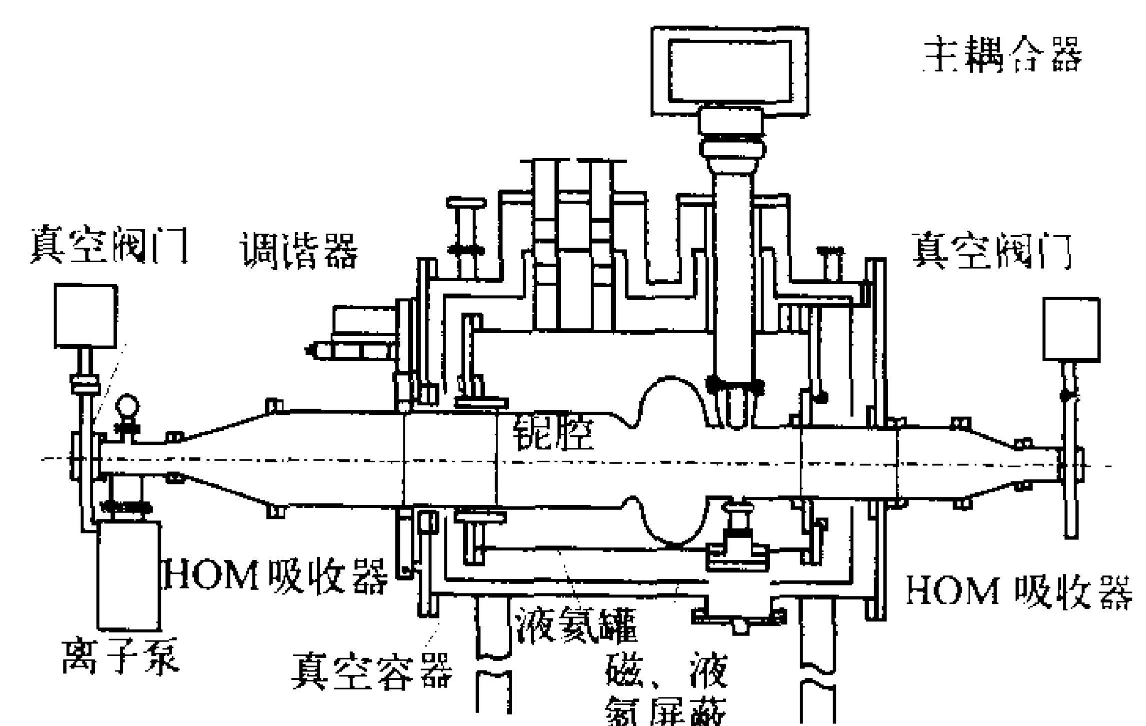
chaodao huixuan jiasuqi

超导回旋加速器　super-conducting cyclotron　使用超导主磁铁的回旋加速器。由于等时性回旋加速器的发展，可以提供相同能量的加速器，其重量大大地减少了。但是，随着加速器能量的不断提高，所需要的磁感应强度也在增加。由于磁饱和效应，磁感应强度的增加受到了限制。20 世纪 70 年代以来，随着超导技术的发展，使用超导线圈的强电流产生高磁场的超导回旋加速器开始问世，其磁感应强度可高达 4～5 T。这就要求使用超导材料做励磁线圈和部分磁体以及所有低温装置。超导加速器可以使回旋加速器的直径减少一半以上，而且能量可以进一步提高。但也带来其他一些实际的问题，如磁场力非常大，要很好地考虑其变形问题，另外，给加速器的注入、引出也带来一定的困难。

（撰写：王义芳　审订：魏宝文）

chaodao jiasuqi diwen hengwen gui

超导加速器低温恒温柜　cryomodule for superconducting accelerator　超导加速器加速单元的低温恒温容器。它的关键部件有两部分：一是提供低温或超低温环境的恒温器；另一是加速带电粒子的超导腔部件，超导腔置于恒温器的低温恒温区内（见图）。目前加速器用的超导腔主要是高纯铌谐振



低温恒温柜示意图

腔，超导腔在射频场中呈现电阻性，铌腔的表面电阻与射频频率的平方成正比增加、与温度的倒数成指数减小。因此，对不同频率的超导腔，工作温度不同，为了获得这种超低温条件，恒温器有一套减压降温系统，技术难度增加。

低温恒温器与超导腔一般是两套真空系统（重离子超导腔除外），超导腔配置超高真空系统。恒温器设计要考虑尽量减小热传导、热辐射、热对流，好的真空条件、多层温度屏蔽、液氮或冷氦气冷屏、特殊的金属连接材料可以达到这些要求。超导腔置于恒温器中，有多处温度测量点，液氦面测量计等。微波功率经主耦合器馈入超导腔，主耦合器适用于低温条件下运行。

（撰写：赵　夔　审订：王传英）

chaodao zhixian jiasuqi

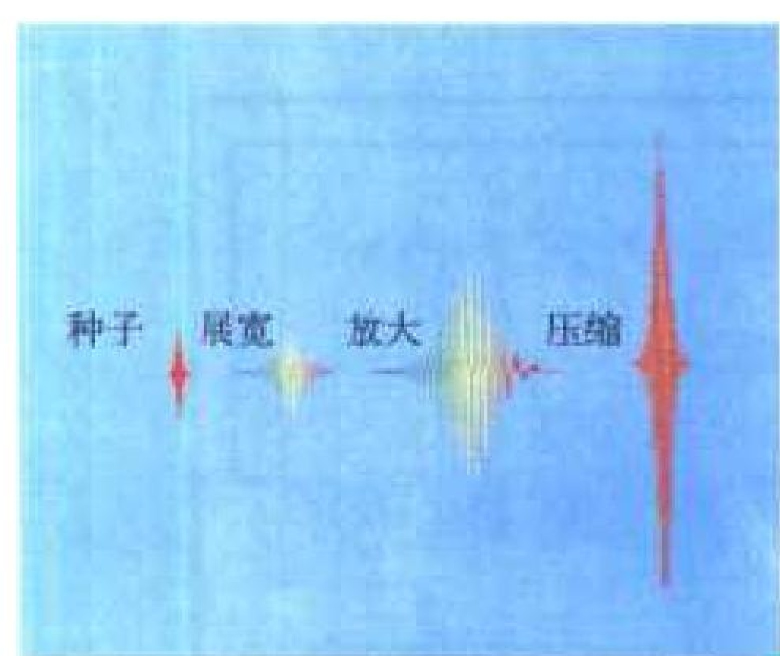
超导直线加速器　superconducting linac　采用超导高频加

速腔的直线加速器。利用超导材料(如铌)制作的高频加速腔，在超导状态下，其射频表面电阻可为室温腔的十万分之一左右，从而大大降低了产生一定加速场所需的高频功率，节省加速器的造价和运行费。为获得高的加速梯度，超导加速腔设计不再像室温腔那样追求高的分路阻抗，而着眼于降低最大表面场强。因此，超导加速腔的束流孔径可以比室温腔大很多，有利于控制束流不稳定性和束流损失。限制超导加速腔加速梯度的原因主要有三个，即次级电子倍增、非超导杂质引起的失超和场致发射。为此，人们在腔形设计、超导材料的制备、腔内表面的抛光与清洁等方面进行了大量的研制工作，目前所能达到的单腔最高加速梯度为 43 MV/m，已很接近理论上的极限值 50 MV/m。

（撰写：傅世年　审订：王传英）

chaoduan chaoqiang jiguang maichong

超短超强激光脉冲　ultra-short and ultra-intense laser pulses　基于自锁模原理和啁啾脉冲放大技术(简称CPA)所产生的宽度仅为几个飞秒(10^{-15}s)，峰值功率可达太瓦(10^{12} W)甚至更高的激光脉冲。CPA 技术可使从激光振荡级输出的超短(飞秒级)种子脉冲最大效率地提取激光放大器的储能。CPA 技术原理是：超短脉冲种子通过色散延迟光学元件将脉宽展宽 10^4 倍到亚纳秒级，再注入激光放大器中(宽脉冲避免了高强度激光引起的非线性效应和对激光晶体的损伤)，获得的脉冲可放大 10^{10}，再通过一共轭色散补偿元件，把激光脉冲再压缩回原来的脉冲宽度，最后输出的就是超短超强激光脉冲。近年来提出的光学参量放大啁啾脉冲(OPCPA)新概念,为进一步发展开拓了新途径。

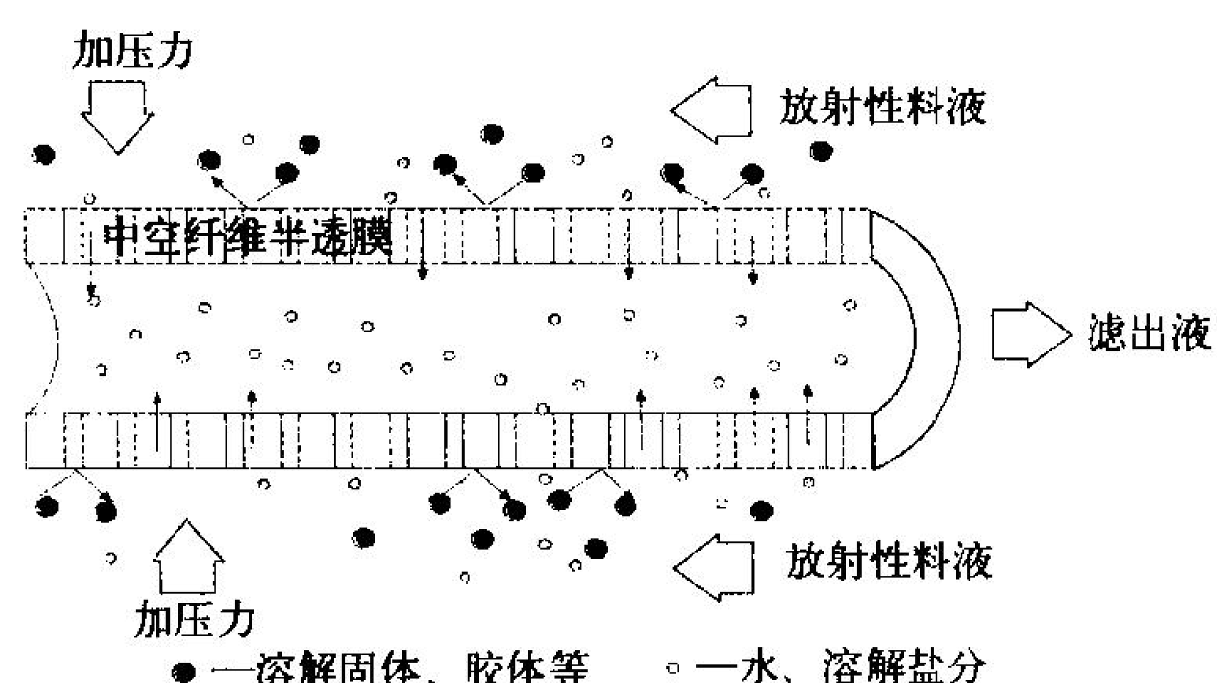


CPA 技术示意图

（撰写：张　杰　审订：江文勉）

chao guolü

超[过]滤　ultrafiltration　借助于压力的推动和半透膜的筛滤作用分离出溶液中分子量大于 500，粒度为 0.002～10 μm 的大分子和胶体微粒的一种膜分离技术。超滤是一种筛滤过程，受膜表面孔径大小的控制，膜的截留效率受溶质颗粒大小、形状、柔韧性和操作条件的影响，而与膜的化学性质关系不大。通常，超滤的工作压力为 0.1～1.4 MPa。超滤过程容易产生浓差极化，通常靠提高进料液流速度和温度减缓浓差极化作用，但是定期清洗是必不可少的。超滤用于放射性废液处理具有很多优点：(1) 去污因数大于 100，在废液中加入少量吸附剂或絮凝剂，充分混合，吸附载带放射性核素后再通过超滤器，可进一步提高去污因数；(2) 浓缩倍数高、二次废物少；(3) 受废液中悬浮固体、起泡剂和高浓度惰性盐的影响小，甚至可用于沉淀泥浆的脱水处理等。超滤膜可用多种聚合物制造，商品超滤膜种类繁多，可根据使用目的选择。超滤组件有板框式、管式、螺旋卷式和中空纤维组件等。超滤技术广泛应用于各种用水和工业废水处理。



超[过]滤分离原理图

（撰写：骆大星　审订：孙明生）

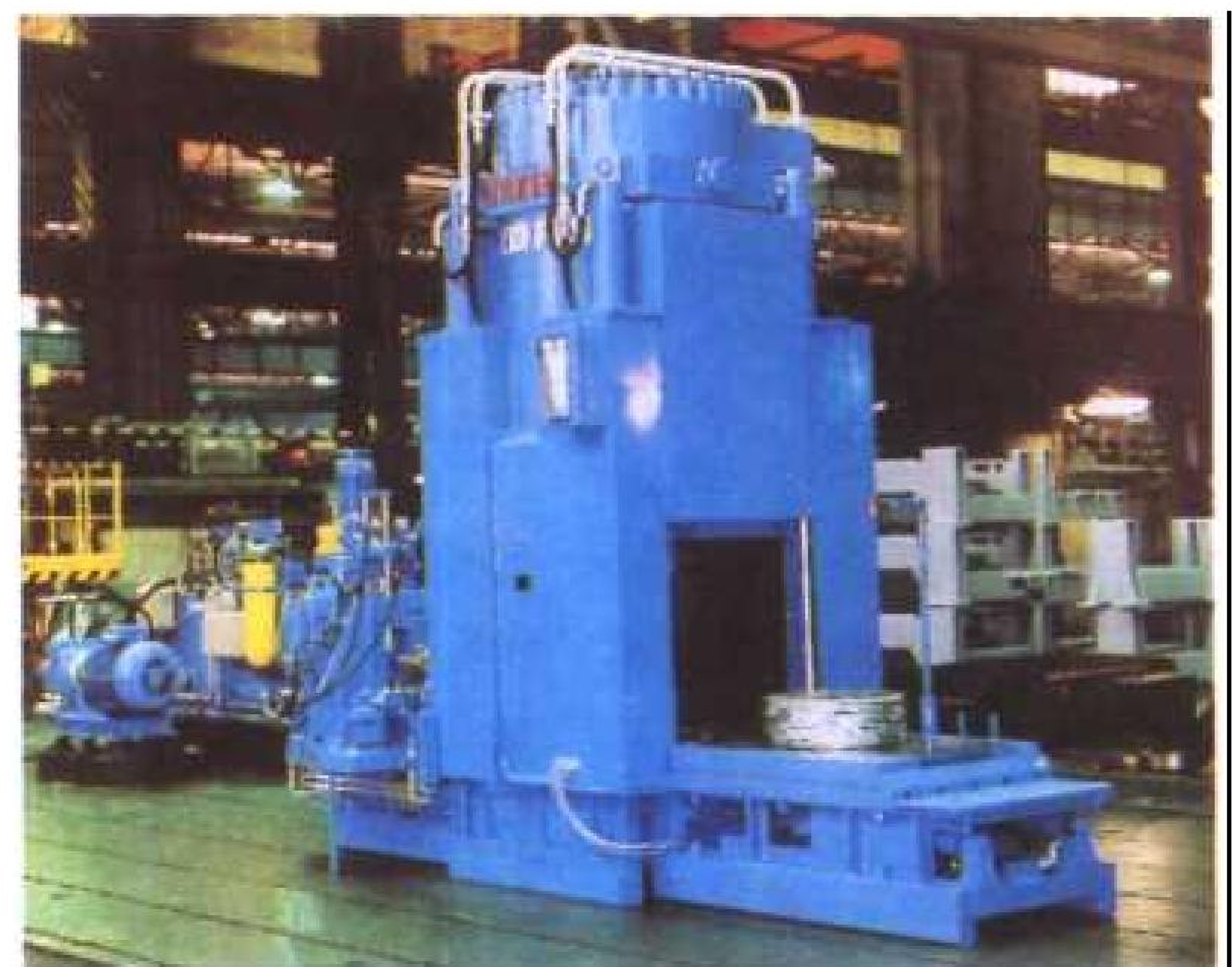
chaohe

超核　hypernucleus　含有超子(奇异数不为 0 的重子)的原子核。最早发现的超核是含有一个 Λ 超子的 Λ 超核，它是波兰科学家 M.Daniesh 和 J.Pnevski 于 20 世纪 50 年代初在宇宙线中发现的。到目前为止，通过中能实验发现了几十种超核。除 Λ 超核外，还有 Σ、Ξ 超核等。另外，还发现含有两个 Λ 超子的双 Λ 超核，如 $^{\Lambda\Lambda}\,{}^{4}$He 等。实验产生超核的方法主要是奇异交换反应，即将入射 K 介子的奇异数转移到原子核上。

（撰写：张建玮　审订：叶沿林）

chaoji yashi

超级压实　supercompaction　放射性固体废物的减容处理中，施加压力超过 1000 t 的压实过程。为了使废物达到较大的减容，特别是为了使硬性物料也能通过压实减容，采用超级压实机。超级压实机可对 200 L 桶装废物、切割后的金属管道和部件、破碎的混凝土块、废机电设备等作减容处理。超级压实机是一种重型机械设备。有固定式和车载可移动式两大类。超级压实机适用于废物量大的场所，如废物处理中心、多堆电厂、废物处置场等。为了实现废物最少化，自 1978 年世界上第一台超级压实机用于放射性废物减容处理以来，超级压实机的使用正在扩大和发展中。如图所示为德国 NUKEM 超级压实机。



德国 NUKEM 超级压实机

（撰写：杜洪铭　审订：罗上庚）

chao lengzhongzi

超冷中子　ultra-cold neutron　特指动能为 μeV 量级或更低量级的冷中子。10^{-7}eV 的超冷中子相应的波长约为 90 nm。中子同其他微观粒子一样，具有波粒二象性，当它由真空入射到介质平面时就会产生折射和反射等现象。对于超冷中子，不管它们对介质的入射角如何，都发生全反射，因此可使用特制的容器贮存超冷中子，称为“中子瓶”。而且可以用重力场或机械装置改变它的能量。超冷中子已用于精密测量中子

的基本性质，用以研究物理学的某些基本相互作用和对称性质。如中子衰变半衰期与弱相互作用强度、中子电荷与大统一理论、电偶极矩与时间反演守恒等。

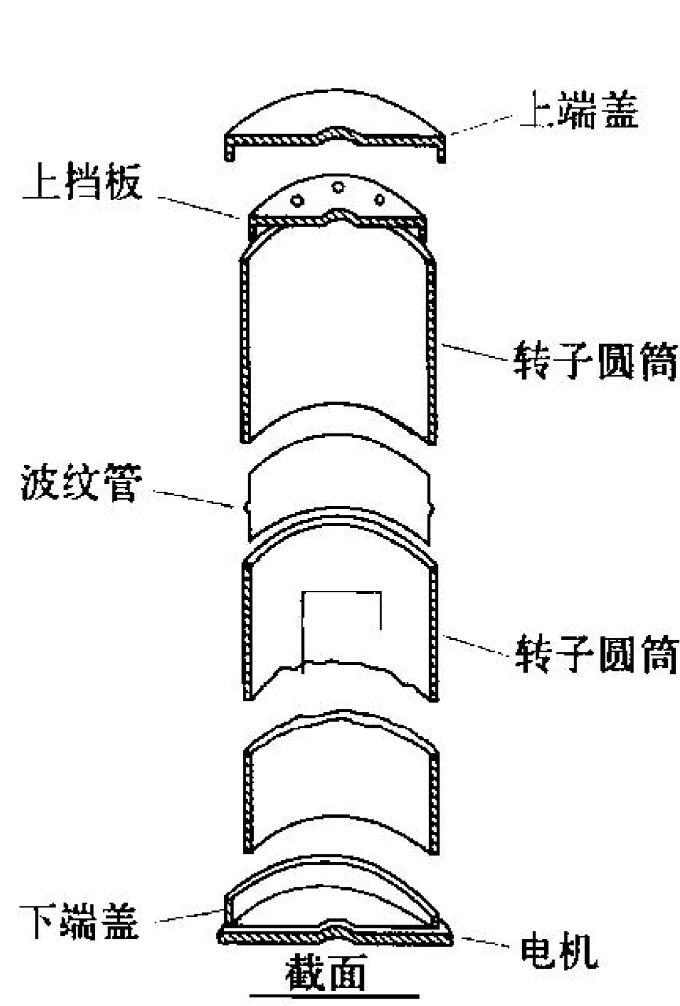
（撰写：李景文　审订：丁大钊）

chaolinjie cuiqu

超临界萃取　supercritical fluid extraction　以超临界流体作为溶剂，有选择性地溶解液体或固体混合物中的溶质的方法。把气体压缩到临界点以上，使之成为超临界状态流体，此气体对溶质的溶解能力会大大增强，将超临界流体注入待萃混合物，两相分离后，含超临界流体的萃取相降压可析出溶质，从而达到萃取分离的效果。超临界萃取是一种节能、无污染、温度条件温和的分离技术。（撰写：牛玉清　审订：程光荣）

chaolinjie lixinji

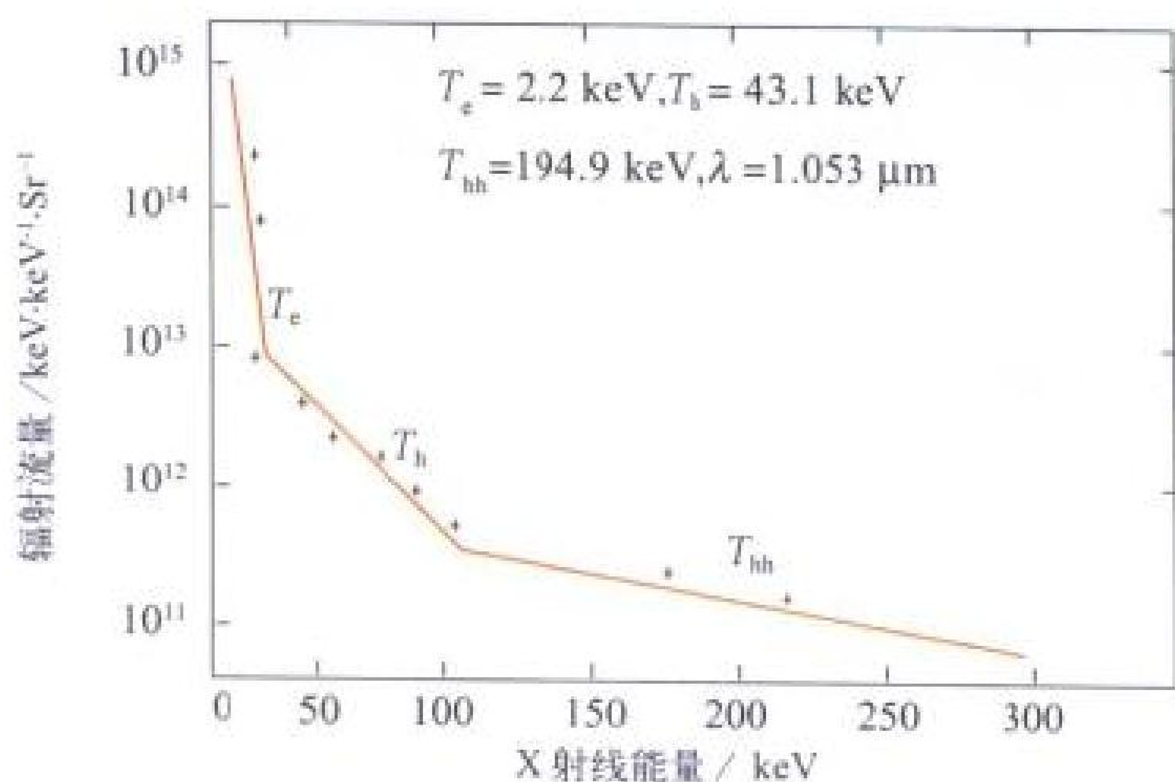
超临界离心机　supercritical gas centrifuge　运行转速高于转子的挠性临界转速的离心机。超临界离心机有两类：多节离心机和整体超临界离心机。多节离心机转子示意图如图所示。由波纹管将多节圆筒连接起来的转子系统具有很低的临界转速，工作转速远高于转子系统的临界转速但又低于每节圆筒的挠性临界转速，即对于每节圆筒来说并未达到超临界。由于工作时为超临界，有自动对中作用，可以大幅度减少工作时的振动。另外一种是整体超临界离心机，转子不是多节的，而是沿轴向为等截面的圆筒。离心机的工作转速超过转子的一阶挠性临界转速或二阶挠性临界转速。这样的离心机在过临界转速时比多节离心机要困难得多。超临界离心机的优点是单台离心机的分离能力（以分离功率衡量）比亚临界离心机高很多。但是超临界离心机的运行稳定性不如亚临界离心机。（撰写：应纯同　审订：刘广钧）



多节离心机转子示意图

chaoredianzi wendu zhenduan

超热电子温度诊断　diagnostic of hot electron temperature　高能电子等效温度的实验测量。激光等离子体相互作用会产生高能（超热）电子，其能量高达几万甚至几十万电子伏。利用滤波—荧光谱仪或K边滤波谱仪测量超热电子与靶物质作用产生的（1.5～300 keV）轫致辐射谱（见图），可间接推断出等离子体电子温度 T_e，超热电子温度 T_h（各段直线的斜率分别反比于相应的温度）和推断总能量 E_{he}。



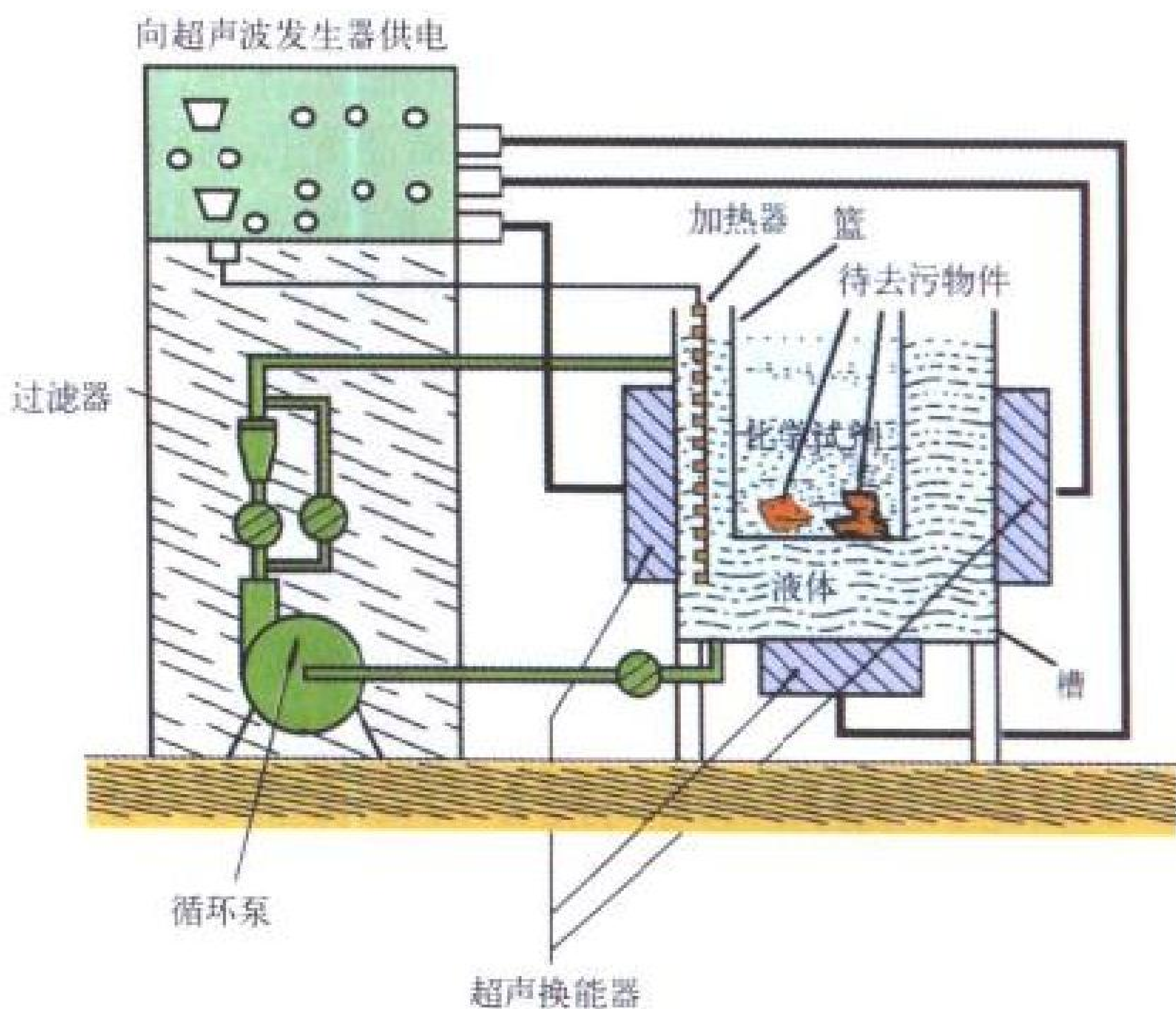
“神光”-I 激光间接驱动黑腔靶硬 X 光谱曲线

λ—激光波长；T_{hh}—更高能量超热电子等效温度

（撰写：祁兰英　审订：江文勉）

chaosheng quwu

超声去污　ultrasonic decontamination　用超声波对物体表面进行去污的过程。超声波去污主要是利用空穴冲击波的机械力进行去污。整个去污过程分为两个阶段：第一阶段因空穴消灭时所产生的巨大冲击力使污垢层从固体表面上被剥松，两者间出现了间隙；第二阶段因空穴作用生成的空洞渗入间隙，并随声压的变化而反复收缩与膨胀，而使污垢层剥离，实现去污。超声去污效果取决于空穴现象及其强度，并与超声波的功率、换能器等有关。增加机械搅拌和添加化学试剂有助于超声去污效率的提高。超声去污现已成功地应用于物体表面松散沉积物和粘附物的去除，如反应堆冷却剂金属过滤器、换料水池池壁和燃料操作工具等的清洗与去污。



超声去污示意图

（撰写：王显德　审订：孙东辉）

chaoya baohu

超压保护　overpressure protection　对于承压的流体或气体系统，在施加压力和相应温度的工况时，防止承压设备或承压边界超过设计技术要求的压力所采取的技术措施。超压是由于热量不平衡或泵的流量过大以及其他现象造成的系统流体或气体超压。防止设备或系统超压的装置可以采用压力释放装置和相关的压力传感元件及控制器。压力释放装置包括压力释放阀、非再闭式压力释放装置如爆破膜装置、安全阀、释放阀和安全释放阀等。在核反应堆正常运行时，仪表和控制系统、卸压阀、安全阀和反应堆保护系统等设备作为整体可以防止超压，通过控制反应堆功率、冷却剂温度可防止反应堆冷却剂系统超压。其他如开启稳压器卸压阀、主蒸汽管道卸压阀也可以防止超压。反应堆运行时，停堆也是一种超压保护行动。（撰写：任常平　审订：张　健）

chaoyou feiwu

超铀废物　transuranium waste (TRU)　含半衰期大于 20 年、原子序数大于 92 的核素，其放射性活度浓度大于或等于 3.7×10^6 Bq/kg 的废物。超铀废物主要来自乏燃料后处理厂和钚加工处理设施。在元素周期表中，原子序数大于 92 的

核素（如镎、钚、镅、锔等）都不是天然核素，它们是通过铀—中子俘获反应或粒子加速器轰击重金属元素形成的。这些核素绝大多数是 α 发射体，一般半衰期很长，且具有很高的放射毒性，在放射性废物管理中，必须对其严格管理和控制，最终需进行地质处置，以保证工作人员和公众的健康，保护环境。（撰写：孙东辉 审订：王显德）

chaoyou yuansu

超铀元素 transuranium element 原子序数在铀（$Z=92$）以后的所有元素。在已发现的超铀元素中包括锕系元素（93～103 号元素）和锕后元素（104～111 号元素）。以此类推，可以将 94 号元素钚以后的元素称为超钚元素。超铀元素都是通过人工核反应发现和制备的。自 1940 年制得第一个超铀元素镎（$Z=93$）以来，到 1984 年已合成出钚、镅、锔、锫、锎、锿、镄、钔、锘、铹、𬬻、𬭊、𬭳、𬭛、𬭶、鿏。在 1998 年和 1999 年俄罗斯杜布纳联合核子研究所和美国贝克莱实验室分别合成了 114 号和 118 号元素。超铀元素的应用范围很广，已从军事、核动力工业扩大到航天、气象、生物和医学等。（撰写：吴克明 修订：罗文宗 审订：崔安智）

chaoyue bianjie shifang

超越边界释放 transboundary release 事故国发生的可能对其他国家产生明显辐射影响的放射性物质释放，是“有超越国界影响的放射性物质释放”的简称。超越边界释放，对境外人员可能带来的影响既有由于放射性扩散和沉降引起的污染问题，也有心理等社会影响问题。核设施所在国要特别注意与邻国，特别是近邻国家之间做好核应急工作的合作。合作的主要内容包括：信息通报和资料交换、监测的比对和资料提供、对饮水和食品的控制等。其中最重要的是信息通报和交流。“及早通报”公约对此有明确规定。当产生了超越边界释放时，如果需要跨界援助，按“援助公约”的规定进行。一般地说，对可能产生超越边界释放的核设施所在国与相邻国可以订立双边的或多边的合作协议以保护公众和环境的安全。（撰写：王 法 审订：施仲齐）

chaozhonghe wendingdao

超重核稳定岛 island of superheavy nuclei 形象地比喻一批理论预言可能存在的原子核。已发现的核素有 2000 多种，如果以核内的中子数 N 为横坐标，质子数 Z 为纵坐标，把所有稳定的和放射性的核素标在核素图上，便可以清楚地看出，自然界中已知的稳定核素都集中在中子数接近质子数的一定范围内；在平面图上，称为 β 稳定线或稳定带；在立体图上，又称为稳定半岛（见图）。

中子数 28 50 82 126 181；质子数 114 82 50 28；不稳定海洋；超重核稳定岛；幻数山峰；幻数山脊；β 稳定半岛；水下山脊；水下山峰

已知的和预言的核稳定区图

由图可见，稳定半岛是高低不平的，这表示了原子核稳定程度的不同。当核内的质子数和中子数为 2，8，20，28，50，82 和 126 等幻数时，核就处于“山峰”地带，较为稳定。那些中子数或质子数远离稳定半岛的核，会通过 β 衰变、α 衰变、质子发射或电子俘获等方式到达稳定半岛。

20 世纪 20 年代末发展起来的原子核壳层模型理论，解释了核素表中具有 2，8，20，28，50，82 和 126 等幻数的核的丰度较大和特别稳定等实验结果。1948 年以来，美国物理学家 M.G.迈尔（Mayer）等强调了质子数 Z 或中子数 N 为幻数的原子核的特别稳定性。1959 年丹麦物理学家 S.G.尼尔松（Nilsson）等将尼尔松单粒子能级图外推到 $N=126$，显示出 $Z=114$ 的壳层效应。1960 年前后瑞典物理学家 S.A.E.约翰松（Johansson）计算证明，在 $N=184$ 附近可能存在寿命足够长的核。1965～1966 年迈尔等从半经验公式出发，预言超重核稳定岛的存在。前苏联物理学家 B.M.斯特鲁宾斯基（Струбинский）提出 $Z=114$ 为下一个质子幻数。1969 年尼尔松等全面系统地进行了计算和讨论，得出了 $Z=114$、$N=184$ 的 $^{298}114$ 为双幻数核，特别稳定，在 1986 年前后，理论计算推测 $Z=108\sim111$，$N=164$ 的核最稳定。围绕着它可能存在成百个超重核，这一区域通常被形象地称为超重核稳定岛。（撰写：张志尧 修订：罗文宗 审订：崔安智）

chaozhong yuansu

超重元素 superheavy element 根据核理论预言，可能存在的原子序数大于 110 的化学元素。相对应的原子核称为超重核。自从 1940 年人工合成 93 号元素镎和 94 号元素钚以来，元素周期表就开始“延长”。随着超钚元素的陆续合成，元素周期表究竟能延长到哪里？为了回答这个问题，在 1966 年前后，理论工作者根据原子核的壳层模型提出了超重元素存在的预言。20 世纪 80 年代理论工作者推测可能存在一个超重核稳定岛，岛上原子核的寿命肯定比其周围的原子核要长，足以用核探测器测定。持乐观态度的核化学家认为，稳定岛的存在是无疑的，重离子合成反应可能是合成超重核的比较现实的途径。1998 年和 1999 年俄罗斯和美国已分别在重离子合成反应中观察到了 114 号和 118 号元素及它们的 α 衰变子体，$^{289}114$ 半衰期达 30 s，其子体核 $^{285}112$ 长达 15.4 min，可见它们已达超重元素稳定岛的边缘。（撰写：张志尧 修订：罗文宗 审订：崔安智）

cheli

撤离 evacuation 在核事故应急响应中采取的紧急防护行动之一，系指人们从一区域迅速迁出，以避免或减少来自放射性烟羽和（或）地面沉积放射性物质高水平、短期的照射。撤离可以在事故发生的不同阶段采用，分为“预防性撤离”和“放射性物质释放后的撤离”两种。预防性撤离是指在发生放射性释放到环境之前作为一种预防性措施采取的撤离，从避免辐射照射来看是最有效的。制定计划时，应该对释放可能如何发展作出考虑和评估，尤其是事故早期，这对是否实施预防性撤离的决策具有很大意义。在放射性物质释放之后撤离的防护效果，取决于快速通知和运送人员的能力、撤离时间以及预计放射性物质在环境中弥散的能力。撤离会带来一定的危害，其危害的程度与撤离时的天气条件、撤离是在白天还是晚上、交通条件等有关。因此，撤离的实施应是十分慎重的，应作出利益和代价的权衡。撤离是一种短期措施，人们将在预计的某一有限时间内返回原地。一般不推荐长于一星期的撤离。

（撰写：施仲齐 审订：陈竹舟）

chen'ai dengliziti

尘埃等离子体 dust plasma 由大量电子、离子及带电尘埃粒子组成的宏观电中性体系。在星际空间和电离层广泛存在尘埃粒子。近年来，在微电子器件的等离子体加工中，观察到尘埃粒子及在基片上的沉积和污染。这些尘埃粒子的尺度一般为 10 nm～100 μm。带有 $10^2 \sim 10^5$ 电子电荷，除受电磁力作用外，还要考虑重力、热压力、离子束和中性气流的拖拽力。带电的尘埃粒子在等离子体中可形成排列有序的晶格结构。 （撰写：王德真 审订：钱尚介）

chendian fenli

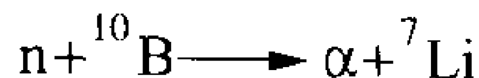
沉淀分离 precipitation separation 向溶液中加入一种沉淀剂，使待分离元素（离子）以固相化合物形式沉淀析出的化学分离方法。该化合物能否从溶液中析出取决于它的溶解度或溶度积。设化合物为 M_mA_n，溶度积 $k_{sp} = [M]^m[A]^n$。根据难溶化合物的 k_{sp} 值的不同，控制沉淀条件，如改变沉淀剂的浓度或种类，有可能进行多种离子的分离。为了提高沉淀分离的净化系数，使沉淀纯净，必须控制好沉淀条件，使沉淀有较好的结晶状态。通常认为颗粒大的晶形沉淀表面积小，杂质吸附也少，而且容易通过洗涤将它除去。在沉淀分离中，采用有机沉淀剂是一个发展方向。有机沉淀剂的优点有：(1) 较高的选择性，吸附和共沉淀现象减少；(2) 形成的沉淀适于分离后的分析。因为沉淀的分子量大，有利于提高分析灵敏度，而且有机沉淀物溶于有机溶剂，或溶解后具有特征颜色，便于分离后进行比色测定。 （撰写：罗文宗 审订：崔安智）

chengao baoqiaoguan

衬锆包壳管 zirconium-liner cladding 内表面衬有纯锆层的燃料元件包壳管。为减小芯块—包壳的机械和化学相互作用，在包壳管内壁加衬一层纯锆，可减小接触应力，衬锆层与包壳为冶金结合，有良好的导热性能。在沸水堆中的使用经验表明，衬锆包壳管是缓解芯块—包壳相互作用的有效措施。为改善包壳穿孔后锆层的耐高温蒸汽腐蚀能力，最近又推荐用含铁的锆层取代纯锆层。 （撰写：王树人 审订：李文埮）

chenpeng dianlishi

衬硼电离室 boron-lined ionization chamber 一种在电极上涂覆硼膜的电流电离室。热中子与硼膜中的 ^{10}B 发生下面核反应



$$n + {}^{10}B \longrightarrow \alpha + {}^{7}Li$$

α 粒子和 ^7Li 核使电离室内的气体电离，在电场作用下形成电离电流。该电流与入射的热中子注量率成正比。由于 α 粒子和 ^7Li 核在硼膜中的射程很短，因此硼膜的厚度控制在 1 mg/cm² 之内。硼膜可以是天然硼或 ^{10}B 丰度为 90% 以上的浓缩硼。电离室的外形主要为圆筒形，电极以多层平板形为主。随着核电的发展，电离室常采用相互独立的 2～6 节电极结构，以实现差分输出控制。为了提高抗辐照能力，延长使用寿命，采用铠装无机绝缘电缆和电离室一体化结构。为降低 γ 辐射的影响，常采用补偿结构（参见补偿电离室）。这种电离室，具有结构牢固、性能稳定的优点，在首座核反应堆中就开始应用，到目前仍然是最主要的堆用探测器之一。 （撰写：陆双桐 审订：杨继明）

chengfen shuxue

成分输血 blood component therapy 把全血用物理或/和化学方法分离并制成各种较浓和较纯的血制品供临床应用。血液成分包括血细胞、血浆、血浆蛋白成分等。血细胞成分有红细胞、白细胞、血小板。血浆成分是指普通新鲜血浆、新鲜冰冻血浆、冰冻干燥血浆等，内含血浆中的全部成分。血浆蛋白成分有白蛋白、血浆蛋白溶液、人免疫球蛋白、冷沉淀、浓缩第Ⅷ因子、浓缩凝血酶原复合物、纤维蛋白等血浆蛋白物质。临床医生可根据病人病情的实际需要，有针对性地输用所需血液成分。成分输血已在世界各国广泛开展。成分血的临床实际用量，已列为衡量一个国家或地区输血技术是否先进的重要标志，也是衡量临床医师水平的标志之一。成分输血的优越性主要体现为提高疗效、减少输血反应、一血多用，既节省血源，又减轻社会、个人的经济负担。成分输血是治疗急性放射病的方法之一。 （撰写：阮长耿）

chengxiang guangxue

成像光学 image optics 一种从物像关系的角度来描述带电粒子在电磁透镜系统中运动规律的带电粒子光学方法。由于带电粒子在具有电磁场的真空中的运动轨迹与光线在媒质中的传播有相似性，因此，可以引用几何光学的研究方法和概念来研究带电粒子的运动轨迹。对于较弱流强的束流，其空间电荷作用可以忽略不计时，不考虑纵向对横向的耦合，在旁轴近似的条件下，在像平面上，起源于物上一点的粒子将再次会聚到一点。这样，在像平面上可以获得与物相似的清晰图像。设透镜系统在物平面与像平面之间的二维传输矩阵为 M，则有

$$\begin{bmatrix} x \\ x' \end{bmatrix} = M\begin{pmatrix} x_0 \\ x'_0 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{bmatrix}\begin{pmatrix} x_0 \\ x'_0 \end{pmatrix}$$

成像的条件是传输矩阵中的元素 m_{12} 等于零。成像光学主要应用在静电加速器、电子枪、离子源以及电子显微镜等装置的光路设计中。 （撰写：傅世年 审订：王传英）

chixuxing zhaoshe

持续性照射 prolonged exposure 持续性的较低水平的长期辐射照射。典型的持续性照射来自宇宙辐射和原生放射性核衰变等“天然源”。某些人工源，如人类活动产生的长寿命放射性残留物也可能是持续性照射的常见来源。含有放射性物质的公众消费品可能造成持续性照射。许多天然源的和几乎所有的放射性残留物的持续性照射都是可控的，人体内具有代谢作用的天然放射性核素产生的持续性照射如 ^{40}K 以及地面宇宙辐射一类的持续性照射则是不可控的。辐射防护体

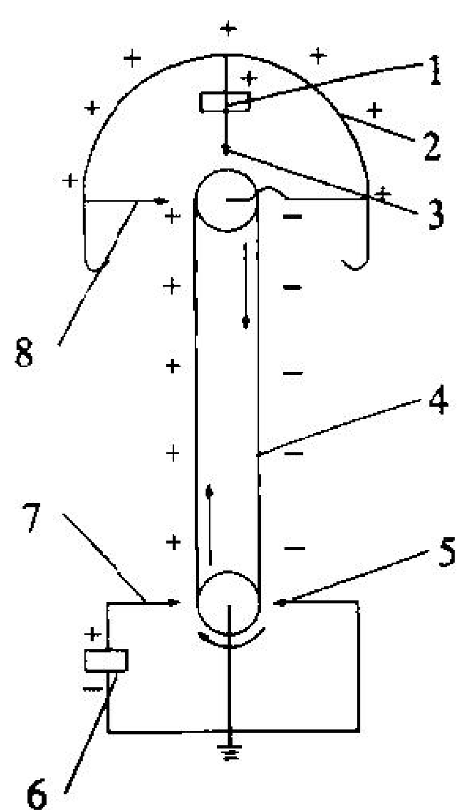
ICRP 推荐的涉及持续性照射的标准

标准、限值或参考水平	限制量	推荐值/mSv
一般参考水平（高于此水平时干预被视为几乎始终是正当的）	（个人）现存年剂量	<≈ 100
一般参考水平（低于此水平时干预可能是不正当的）	（个人）现存年剂量	<≈ 10
商品的豁免干预水平（适用于建材之类的主要商品）	附加的年剂量	≈ 1
对实践的剂量限值	（累积）附加的年剂量	1
对实践的剂量约束	附加的年剂量（对持续照射组分）	<≈ 1 和 ≈ 0.3（≈ 0.1）
对实践的豁免水平	附加的年剂量	≈ 0.1

系的实践和干预两个概念适用于持续性照射。在控制和管理实践的持续性照射时应遵守正当性和防护最优化原则，而且应对预期由每个源和所有受到监管的实践产生的持续性照射实行严格的个人剂量限制。干预持续性照射的正当性应通过一种辅助决策过程来评定，该过程要求实际权衡与辐射防护相关的所有的长期的特征，除可避免的个人和集体剂量外，还包括对持续性照射引起忧虑的减少、干预所提供的保证以及防护行动的社会费用、危害和破坏等。表中汇总了国际放射委员会推荐的涉及持续性照射的剂量限值、剂量约束、参考水平和商品的豁免水平等。(撰写：张延生 审订：潘自强)

chongdian xitong

充电系统 charging system 加速器装置中用于产生电荷并将电荷不断地输送到高压电极上以建立静电高压的设备。它主要由充电电源和电荷输运设备等组成。静电加速器充电系统按电荷输运设备分为 3 种：输电带，输电链和输电梯。它们的基本工作原理如图所示。



输电带复激输电示意图

1—头部喷电电源；2—高压电极；3、7—喷电针排；4—输电带；5、8—刮电针排；6—喷电电源

输电带充电系统主要由充电电源、喷电针排、输电带、刮电针排、上下转轴等组成。输电带价格低，输电能力大，可达数百微安，但易拉伸磨损，在高压环境中产生灰尘，使用寿命一般只有数千小时。

输电链由数百个尼龙绝缘子和不锈钢小圆筒交替连接而成。尼龙绝缘子承受加速器全部高压，不锈钢圆筒携带电荷输送到加速器的高压电极。输电链机械和电性能均较好，输电电流稳定。每条输电链输电能力约为 100 μA，使用寿命可高达 30000 h。

输电梯是用金属横板将两条输电链上的不锈钢小圆筒两两连接在一起而形成。输电梯的每一节包括两个不锈钢小圆筒，一条金属连接横板，两个尼龙绝缘子以及小轴，无油轴承，紧固螺钉等组成。输电梯由于其携带电荷的表面积明显增加，因而输电电流大大增加，单边输电可达 200 μA，总输电能力在 400 μA 左右。 (撰写：杨丙凡 审订：关遐令)

chongqi gongyi

充气工艺 gas filling technology 激光聚变装置中将气体充入燃料容器的工艺。涉及充入氘或氘氚燃料气体和氦、氖、氩、氙等。其要求是将 1～100 MPa 气压的气体充入直径 100～1500 μm 的玻璃或塑料靶丸内，并且维持到激光打靶的时刻。充气气压越高，技术难度越大。有一种是热扩散法，它适用于氢、氦、氖等对玻璃和塑料壳渗透能力强的气体。该法利用铀床 U (D，T)$_3$、钒床 V (D，T)$_2$ 等金属氢化物作为氘氚气体增压器，形成一个高压充气环境。另一种是炉内充气法和注入法，它适用于氩、氙等分子直径较大的示踪诊断气体。此法，微球需要利用离子钻或准分子激光束钻出微米、亚微米大小的小孔，然后将气体充入球内，再用聚酯或玻璃塞封住。 (撰写：唐永建 审订：江文勉)

chongjibodan

冲击波弹 shock wave weapon 见弱剩余放射性武器。

chongjibo huishang zuoyong

冲击波毁伤作用 damage and injure effects of shock wave 核爆炸冲击波对物体和人员造成的破坏和杀伤。冲击波的毁伤作用主要决定于其强度，即超压、动压和持续时间。在冲击波的动压冲击和超压的高压作用下，可造成各种物体不同程度的破坏。图 1 和图 2 为百万吨 TNT 当量级氢弹空中爆炸，房屋建筑物和坦克被冲击波破坏情况。放在仓库、工事内的武器和其他物资还可能由于建筑物被摧毁而遭到间接破坏。在一般情况下，低层楼房在超压为 7～15 kPa 时，可造成轻微破坏；超压为 15～25 kPa 时，可造成中等破坏；超压为 25～35 kPa 时，可造成严重破坏。冲击波对人员的杀伤作用中，超压可以引起心、肺和听觉器官损伤。动压可以使人体抛出、碰撞而造成伤亡。冲击波直接作用于人体引起的损伤称为冲击伤。超压为 20～29 kPa 可引起轻度伤；29～59 kPa 可导致中度伤；59～98 kPa 可造成重度伤；大于 98 kPa 可造成极重度伤。动压为 10～20 kPa 可造成中度伤；20～39 kPa 可造成重度伤；大于 39 kPa 可造成极重度伤。



图 1 冲击波超压使房屋压垮情况

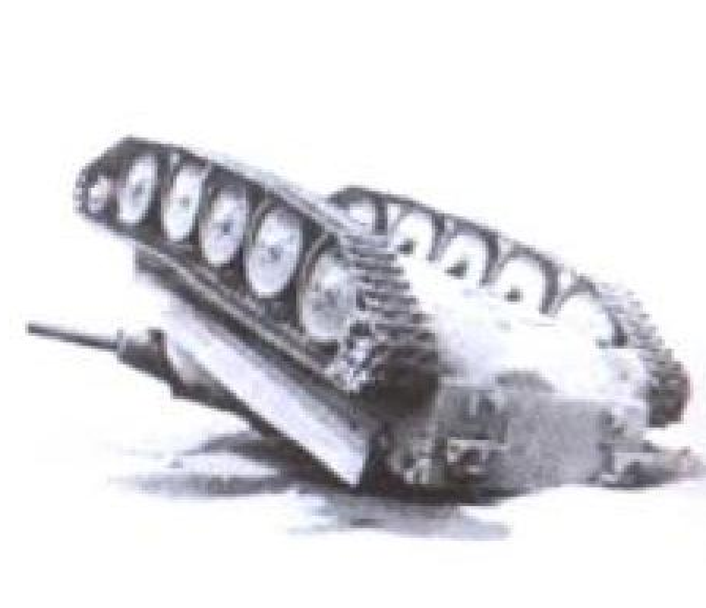


图 2 冲击波动压使坦克抛掷翻倒情况

图出处：国防科学技术工业委员会科学技术部. 中国军事百科全书. 核武器分册. 北京：军事科学出版社，1990. 77、78

(撰写：乔登江 审订：吕 敏)

chongji zaihe

冲击载荷 shock wave load 结构或目标在核爆炸冲击波作用下受力的分布。目标的冲击载荷与其几何形状和冲击波传播方向、强度紧密有关。地爆时冲击波沿地面传播，地表以上目标正面受到冲击波作用产生反射，所受压力大于冲击波超压力至少 2 倍以上。随着冲击波绕过目标，其顶面和各个侧面均受到不同大小的压力作用，这类载荷称做环流载荷。同时，由于目标正面受到动压的单一方向冲击，和正面、背面之间的压力差，使得目标受到拖曳力的作用，即拖曳载荷。对于球状（如坦克）柱状（如烟囱）等目标，拖曳载荷是主要破坏因素，可以观察到坦克被吹翻（参见冲击波毁伤作用）、烟囱折断等现象，对于箱形目标（如房屋）环流载荷是主要破坏因素，因而可以观察到墙塌屋倒的现象。空爆时，在距爆心投影点距离在约 1 倍爆炸高度以内的目标，受到从上方以不同角度下传的冲击波作用，其冲击载荷与上述分析稍有差异；当距离大于约 1 倍爆高后，目标所受冲击载荷与上述分析相近。 (撰写：乔登江 审订：吕 敏)

chongji kuisun

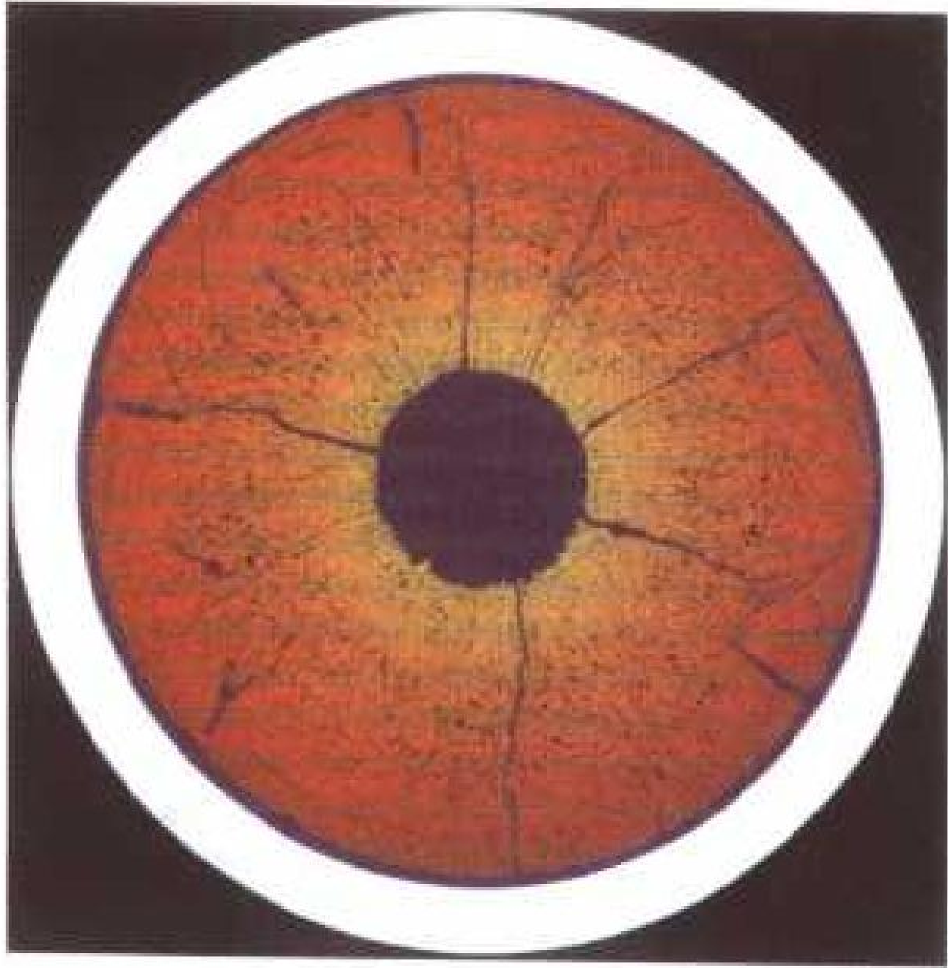
冲激亏损 ballistic deficit 如果信号处理系统的冲激响应的最大值为 h_m，在输入具有一定宽度的单位面积信号时，输出信号的最大值为 h_{m1}，则称 $(h_m-h_{m1})/h_m$ 为系统在输入此种宽度信号时的冲激亏损。在核辐射能谱仪中，用冲激亏损估

C

计探测器输出电流脉冲宽度变化时信号处理系统的输出信号幅度的变化。 （撰写：刘 杰 审订：席德明）

chonggou xiaoying

重构效应 restructuring effect 氧化物或碳化物陶瓷燃料在高温及陡峭的温度梯度条件下，发生气孔向中心迁移和燃料微观结构变化的现象。快中子堆氧化物燃料的典型重构特征是从内向外形成由中心空洞、柱状晶区、等轴晶区和原始晶区组成的同心环状结构（见图）。由于重构效应引起燃料棒中心温度的降低，从而可提高燃料的熔化线功率。但燃料棒的线功率过大，使重构范围扩展至燃料的外表面，则可能加剧芯块与包壳的机械相互作用。



快中子堆(U，Pu)O_2燃料棒的重构效应

（撰写：张汝娴 审订：李文埮）

chongxin baozhang

重新保障 de-exemption 对先前免除核保障的核材料再次实行核保障。 （撰写：金惠民 审订：严叔衡）

choumi shan'ge

稠密栅格 dense lattice 反应堆内燃料棒之间的间距小于中子在慢化剂内平均自由程的栅格。压水堆和沸水堆的铀—水栅格属于稠密栅格。在这种栅格内，从燃料棒发出的中子，有可能在穿过慢化剂时未经任何碰撞，而直接在另一根邻近燃料棒内发生碰撞。计算这种稠密栅格的有效共振积分时应该考虑这种影响。

（撰写：薛小刚 审订：史永谦 许汉铭）

churu tongdao kongzhi

出入通道控制 control of access and egress 核事故应急响应防护行动的附加措施之一，系指对进出受事故影响地区的人员、车辆、设备及物资等加以控制。一旦认识到辐射应急状态存在，随即就应自动地对出入事故影响地区的通道予以控制，甚至可以在决定隐蔽或撤离受影响的居民之前就控制出入通道。控制出入，避免了那些若不控制就会进入该地区的人受到照射，并且有可能减少污染扩散到该区域之外，它还能减少对应急干预运作和以后的去污及恢复工作的干扰。应当区别对待两种不同的情况：对进入事故直接影响区域的控制和对进入更广泛范围受影响区域的控制。控制大面积区域出入通道，只可能作为短期措施。长期限制出入可能导致受限制区内较重大的生态变化及基础结构方面的恶化。

（撰写：施仲齐 审订：陈竹舟）

chudian

除碘 removal of radioiodine 用一种或一种以上的方法来除去核反应过程中产生的碘核素，使其达到允许排放的水平。气体中除碘方法分两类。第一类为液体吸收法，包括：(1) Iodox 法；(2) HNO_3–$Hg(NO_3)_2$ 溶液洗涤法；(3) 用 NaOH 或 LiOH、$Na_2S_2O_3$ 等水溶液洗涤废气，其中 NaOH 溶液对元素碘净化系数为 10^2～10^4，但对有机碘的去除却无效。第二类为固体吸附法，吸附剂包括附银沸石、附银硅胶、大孔树脂、分子筛、Al_2O_3–Bi 及用三乙撑二胺 (TEDA) 和 KI 浸渍过的活性炭等材料做成吸附过滤器。固体吸附剂除碘效率高，净化系数可达到 10^4～10^5，但吸附容量有限，因此可作为核燃料后处理溶解尾气的终端处理方法，第一级用液体[如 $Hg(NO_3)_2$ 或 NaOH 溶液] 吸收洗涤，第二级用固体吸附剂（如附银沸石、附银硅胶）吸附的二级除碘方法，其除碘效率可达 99.99 %。 （撰写：张琴芬 审订：朱永赌）

chuyan

除盐 demineralization 又称脱盐。从水、废水或工艺料液中除去盐分的过程。核工业中广泛应用除盐技术，核电厂等设施需要制备和使用大量的除盐水，轻水堆冷却剂要求除盐水的电导率达 0.2～0.06 μS/cm (25℃)；乏燃料贮存水池也需要使用除盐水。在放射性废液中，以离子状态存在的放射性核素的浓度比常量盐类离子低几个数量级，要除去这些放射性核素，往往也要除去常量盐分，所以放射性废液净化处理，实际上是一种深度除盐过程。核工业中常用的除盐方法



核电站除盐水车间的离子交换装置图

有：蒸发法、冷冻法、离子交换法、膜分离法（主要是电渗析法、反渗透法和超滤法），这些方法可单独或联合使用。图示核电厂使用离子交换法制备除盐水的装置。除盐技术还广泛应用于海水和咸水的淡化处理、生产和生活用水的处理以及为计算机和电子工业制备超纯水 (25℃时，电导率 < 0.07 μS/cm) 等。

（撰写：骆大星 审订：孙明生）

chuzhichang guanbi

处置场关闭 repository closure 放射性废物处置全过程中的一个阶段。在该阶段中，处置场（库）运行已经结束，不再接收任何外来废物。在关闭阶段要继续做好处置单元的覆盖层及其稳定化工作，终止所有相关建筑设施的活动，并对其进行去污或拆除。当处置场已经达到运行许可证允许处置的废物量或总放射性限值时，处置场按预定计划实施的关闭称为正常关闭。当发现处置系统的设计或场址的选择有不可改正的严重错误，或发生不可预见的自然灾害（如地震、

塌陷和洪水等）使得处置场不再适合处置放射性废物时，处置场实施的关闭称为异常关闭。实施异常关闭应作出计划，并必须得到审管机构的批准。在处置场关闭阶段，为防止人类无意闯入侵扰，保证处置设施的有效性和安全性，应对处置场进行长期监护。监护分为主动监护和被动监护。主动监护内容包括定期检查并维护覆盖层的完整性、排水系统的可靠性，修复人类或动植物侵扰造成的破坏后果；实施关闭阶段的监测计划以验证处置安全性；对恶劣气候或其他自然灾害形成的不良后果采取必要的补救行动。被动监护包括使公众了解处置设施的情况和处置区土地使用的时间限制，在处置场场区和处置单元附近的适当位置设立永久性标志，标明废物埋藏位置和有关信息。

（撰写：谷存礼　审订：陈　式）

chuzhichang xuanzhi

处置场选址　site selection for repositories　依据一定的准则为放射性废物处置场（库）选择合适场地址的过程。选址过程中需综合考虑社会经济条件和自然条件,包括社会影响、经济状况、核设施布局、公众态度、人口密度、运输、土地利用、自然资源、旅游资源、自然地理、气候、地质稳定性、地质、主岩、水文地质、工程地质、地球化学、未来自然变化等。选址步骤包括规划选址、区域调查、场址特性调查和场址确认等四个阶段。一般采用筛选法（或称排除法）选址。大部分有核国家已选定中低放废物处置场。对高放废物处置库，则处在区域调查或场址特性调查阶段。

（撰写：王　驹　审订：孙明生）

chucun huan

储存环　storage ring　一种储存、积累、加速带电粒子，进行对撞、产生同步辐射光以及提供高性束流的设备。按储存粒子的种类不同，有电子储存环、质子储存环和重离子储存环等。北京正负电子对撞机上的束流对撞是在一台能量为1.1～2.8 GeV 的储存环上进行的。合肥同步辐射加速器装置的储存环可以把电子加速到 800 MeV。作为兰州重离子加速器装置的发展，两台重离子冷却储存环，即主环和实验环，正在建造中。在直线对撞机中，阻尼环利用同步辐射的阻尼作用以减小电子束团的尺寸和提高其流强。在质子—反质子对撞机中，积累环用于收集、积累打靶产生的反质子。储存环对加速器物理和技术提出了一系列要求。为了使束流寿命达到数小时以至数十小时，环形真空盒的横截面尺寸要足够大，要求真空度通常高达 10^{-7}～10^{-8} Pa。储存环是高能物理、核物理和同步辐射研究的重要工具。

（撰写：张　闯　审订：何多慧）

chufa panxuan luoji

触发[判选]逻辑　trigger [decision] logic　根据某些判据对代表某个事件的一群信号进行选择（接收或舍弃）的逻辑技术和电路。目前，在高能物理实验中，触发[判选]逻辑常用作事件判选。其判据有时间关系、空间关系、动力学关系、图形学关系等。要求事件判选做到在尽量不丢失好事件的前提下，尽可能的排除本底。为此常采用多级判选技术，即快速的粗选和慢速的精选。需要采用大规模程控组合逻辑、现场可编程门阵列（FPGA）以及处理功能强大的处理器群阵（farm）。在线筛选率一般在 10^5 以上。

（撰写：倪建平　审订：席德明）

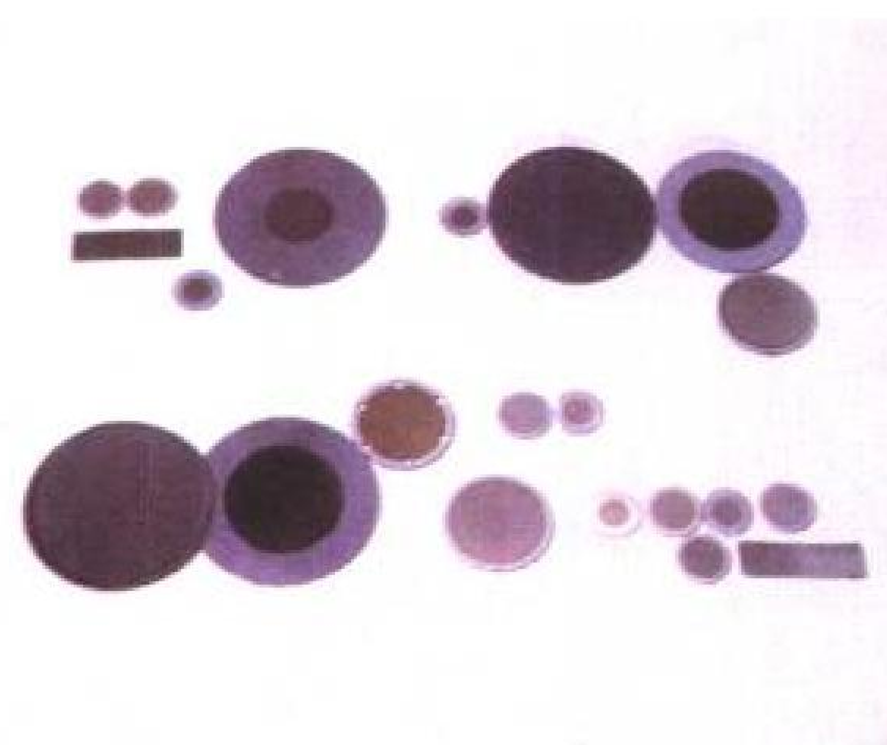
chuan

氚　tritium　氢的放射性同位素，符号 T 或 ^{3}H，质量数为3，相对原子质量为 3.016049。氚核是由一个质子和两个中子组成的。氚的半衰期 12.3 a，为纯 β 发射体，其 β 粒子的最大能量为 18.6 keV，平均能量为 5.69 keV。氚在自然界中的储量甚微，一般淡水中的含量比海水中的大。氚的生产参见*产氚方法*。氚的主要用途为：(1) 氢弹装料和聚变堆燃料；(2) 氚及其金属化合物（如氚化钛）可用作 β 辐射源；(3) 作为示踪原子用于化学反应和生物过程机理的研究。

（撰写：卢浩琳　审订：韩延德）

chuanba

氚靶　tritium target　一种由金属氚化物或密封于容器中的氚气制成的，用于产生中子的加速器靶。通过 T (d，n) ^{4}He 或 T (p，n) ^{4}He 反应产生中子。氚靶可根据其结构而分为金属氚化物靶（吸附靶）（见图）和气体靶两类。吸附靶以导热性能良好的材料（铜、银、钼、铂或钨等）作为靶托，用真空镀膜法镀上钛（或锆、钪）薄层作为载体，除气后在氚气中加热吸氚，然后缓慢冷却而形成不同类型的氚靶，如氚钛靶、氚锆靶和氚钪靶。这类氚靶所含氚的放射性活度可达 10^{10} Bq，使用温度在 200℃ 以下无明显的氚释放现象。气体靶由于气密性差，易造成氚污染而不多用。氚衰变时放出的 β 粒子可电离气体，氚靶常作为一种 β 放射源而用于气相色谱等工作中。氚发射的粒子被载体阻滞后会产生轫致辐射，故氚靶也可作为轫致辐射源使用。氚靶能发射的最大能量为 18 keV、具有连续谱的轫致辐射。



金属氚化物靶

（撰写：吕延晓　审订：卢玉楷）

chuan biaoji

氚标记　tritium labelling　将氚引入化合物分子中形成氚标记化合物的制备过程。氚标记的实施方法大致可以分为两类：合成法与非合成法。前者包括直接化学合成法和生物化学合成法。直接化学合成法是以氚气、氚水或金属氚化物为原料，通过催化还原、氚卤取代等反应来制备氚标记化合物。直接化学合成的优点是，可以制得定位氚标记化合物，反应副产物少，易于纯化。但该方法难以制备复杂的天然产物和生物聚合物的氚标记化合物，且在分子重排和同质异构现象中易出现氚标记的转移。非合成法包括气体曝射法、微波氚标记法、同位素交换法等。这类方法操作简便，适于制备多种氚标记化合物，但氚在标记化合物中的位置不能预先知道，放射化学杂质多，比活度低。（撰写：卢玉楷　审订：吕延晓）

chuan de fanghu yu jiance

氚的防护与监测　protection and monitoring of tritium　防范氚 β 辐射的照射危害和对氚 β 辐射所进行的防护及环境监测。氚属低毒放射性核素，衰变时放出的 β 粒子能量（18.5 keV）较小，在空气和软体组织中的射程较短（分别为 5 mm 和 5 μm），因此无外照射危害，只需考虑从呼吸道吸入氚的内照

射防护。氚水蒸气通过皮肤进入体内的量与吸入肺部的大致相等，所以还要防止其透过皮肤而进入体内。氚的防护措施为：(1) 操作系统应有良好的密闭性，需置于手套箱或通风柜中；(2) 操作设备应选用低渗氚量的材料制造，氚的转移可采用托泵、隔膜泵或水银增压泵；(3) 操作人员需穿戴相应的防护衣具。氚的监测主要包括辐射防护监测和环境监测。前者需甄别其他核素和辐射形式，此外还需要能甄别 HTO-HT 的选择性监测；后者需用取样器（如连续鼓泡）收集，经浓缩后进行氚的分析。（撰写：韩延德　审订：卢浩琳）

chuan hua shui

氚[化]水　tritiated water　HTO，DTO 和 T_2O 的通称。氚水在常温下是无色无臭的液体，它和普通水在物理、化学性质上有一定的差异：(1) 氚水是放射性的，它可产生辐射分解；(2) 具有明显的同位素效应；(3) 氚水与其他化合物的反应速度比普通水慢；(4) 氚水在电解过程中，氕或氘优先从阴极析出，液相中氚的浓度将增大；(5) 氚水中的氚可和水蒸气中的氕或氘进行同位素交换。当与大气中的水蒸气接触时，其比活度将降低。氚[化]水的制备方法及其优缺点见表。

制备方法	优　点	缺　点
氚氧直接化合，铂丝作催化剂	纯度高,比活度高	有爆炸危险
氚与普通水接触经同位素交换，铂作催化剂	操作简便	纯度较低，比活度低
氚还原金属氧化物，如CuO等	比活度较高，设备简单，安全可靠，CuO 易再生	含微量Cu盐，需进一步纯化

氚水可作为标记化合物用于研究石油层中水流的分布及地下水的运动，也可用于生物合成、化学动力学和反应机理的研究。（撰写：韩延德　审订：卢浩琳）

chuan hua shui tuochuan

氚[化]水脱氚　detritition of [tritiated] water　分离氚[化]污水中氚的工艺。天然水中的氚浓度极低，一般占氢同位素原子总数的份额小于 2.0×10^{-20}（即低于 200 个氚单位）。（根据环保要求，对氚浓度大于 1 mol/L 氚单位的氚水必须进行脱氚）。氚水脱氚可采用水多级蒸馏或电解气相催化交换 (VPCE) 或液相催化交换 (LPCE) 法。前者因能耗太高而不实用；VPCE 法脱氚结合低温精馏可获得有用的高纯（99%以上）氚。但该法是在 200℃ 进行的，且需多次蒸发和冷凝以实现回流，能耗高的问题仍没有解决。LPCE 法的温度可低于 60℃，但要求催化剂具有疏水特性，且必须与水的电解工艺结合才能达到底部回流的目的（参见电解结合催化交换）。该法的能耗比电解法的低。（撰写：韩延德　审订：卢浩琳）

chuan zai cailiao zhong de xingwei

氚在材料中的行为　tritium behavior in materials　氚在材料中的溶解、扩散以及在表面解吸和吸附等物理现象。氚在材料中的溶解度和扩散能力与材料种类有关，由于氚原子半径小，氚在材料晶格中常处于间隙位置，形成金属氚化物。通常，氚在材料中容易扩散渗透，材料中的杂质影响扩散速度。氚扩散到材料表面，通过解吸释放出来。解吸率与材料表面状态有关。当材料表面吸附氢和水分时形成氚气 (HT)、氚水 (HTO)，加速氚的释放。因此，氚在材料中的释放与材料的晶粒度 (d)、氚在材料中的扩散系数 (D) 和表面解吸率 (k) 有关。当 $dk/D>10$ 时，氚的释放受扩散控制；$dk/D<1$ 时，受表面解吸控制；在 $10\geqslant dk/D\geqslant1$ 时扩散和表面解吸同时起作用。此外，氚要衰变成 ^3He，^3He 原子聚集成氦泡，氦泡的长大会导致材料脆化和肿胀，严重时导致材料粉化。（撰写：卢浩琳　审订：韩延德）

chuan zhucun cailiao

氚贮存材料　tritium storage materials　可贮存氚的材料。利用金属或合金吸收氚形成金属氚化物起到贮氚作用，金属氚化物中氚的浓度与液态氚的相近。加热或减压时，氚从材料中释放出来。作为贮氚材料，要求在室温附近吸氚，吸氚量大，放氚温度低，氚释放压力高，能多次循环使用，释放出的氚纯度高，抗粉化性能好。氚贮存时释放出 ^3He，因 ^3He 在材料中的溶解度很低，在晶格内聚集、长大会引起材料微观结构变化，导致贮氚性能恶化。因此，要求贮氚材料有高的 ^3He 保留能力。（撰写：卢浩琳　审订：韩延德）

chuandi jiliangji

传递剂量计　transfer dosimeter　具有足够准确度和稳定性，能被基准或标准剂量计校准并能被输送到用户的辐照装置处进行准确剂量评估或者是提供校准的常规剂量计。该剂量计的响应既可以在用户处赋值，又可以返回到标准／校准实验室处做剂量评估。如热释光剂量计 (TLD)，丙氨酸—电子自旋共振剂量计和辐射变色薄膜剂量计等。它对国内或国际间的量值传递起着重要的作用。（撰写：陈云东　审订：丁声耀）

chuanneng xianmidu

传能线密度　linear energy transfer　带电粒子在穿行 dl 距离时由于电子碰撞而损失的能量减去所释放的动能大于Δ的所有电子的动能之和 dE_Δ 除以 dl 而得的商，即

$$L_\Delta = dE_\Delta/dl \tag{1}$$

传能线密度的单位为焦耳每米 ($J\cdot m^{-1}$)。E_Δ 可用电子伏 (eV) 表示，因此 L_Δ 可用电子伏每米 ($eV\cdot m^{-1}$) 表示。传能线密度 L_Δ 又称有限线电子阻止本领，还可用式 (2) 表示，即

$$L_\Delta = S_{el} - dE_{ke,\Delta}/dl \tag{2}$$

式中 S_{el} 为线电子阻止本领；$dE_{ke,\Delta}$ 为带电粒子穿行 dl 距离时释放的所有电子的大于 Δ 的动能之和。该定义表示下列能量平衡：初级带电粒子沿一径迹区段与电子碰撞时的能量损失减去动能大于 Δ 的次级电子带走的能量，等于被视为“局部转移”的能量，虽然定义规定能量截止 Δ 而不是射程截止。该定义与以往给出的差别有两个方面，第一，现在 L_Δ 包括对所有碰撞的结合能。因此，L_0 指的是能量损失而不是再现为释放电子的动能。第二，释放电子的动能阈现在是 Δ 而不是 Δ 减去结合能。为了简化表示方法，Δ 可用 eV 表示，那么，L_{100} 就应理解为能量截止值为 100 eV 的传能线密度。（撰写：董柳灿　审订：陈竹舟）

chuanshu bodao

传输波导　wave guide of transmission　用以输送射频电磁波的导体管道。通常按其截面形状来分类，如圆波导、椭圆波导、矩形波导等。波导的内表面是良导体（铜或银），目的是降低传输损耗。每一种传输波导都有一个与其截面尺寸有关的截止频率，只有频率高于截止频率的电磁波才能在其中传输。利用这一特性，我们可以设计波导尺寸，只让我们需要的某种波形通过，而造成干扰的其他波形全被截止。用于传输

S 波段电磁波的矩形波导的内尺寸通常为 3.4 cm × 7.2 cm，只有 S 波段的 H_{10} 波能在其中传播。在光滑波导中，电磁波的相速总是大于光速。因而，电磁波在光滑波导中的波长总是大于其在自由空间的波长。（撰写：罗应雄　审订：王传英）

chuanji shiyan

串级实验　cascade experiment　一种间歇操作的多级逆流液—液萃取过程实验方法。该方法首先根据萃取过程的分离要求，预先进行级数估算，大体确定一个级数，在设计的流比和进料物流组成条件下，用若干支分液漏斗（或试管）来进行多级逆流萃取，其结果（如流程收率、净化系数、分离系数、浓度分布等）可用来验证设计的分离条件是否达到预期的分离要求。对于料液组分复杂且各组分的分配系数又相互影响的萃取体系以及新的萃取体系，需要在实验室中进行串级实验，以取得第一手数据用于流程参数的设计。

（撰写：吴秋林　审订：林漳基）

chuanlie jiasuqi

串列加速器　tandem accelerator　利用一个高压使带电粒子获得两次加速的静电型加速器。串列加速器的直流高压通常由输电系统将电荷从地电位输送到高压电极上而形成。它的工作原理是将由负离子源产生负离子注入到加速器主体中，在高压电极的正电场的作用下，经低能段加速管被第一次加速。当负离子到达高压电极后，通过电子剥离器并被剥掉 2



HI-13 串列加速器主体外貌

个或多个电子，变为正离子。在高压电极作用下，正离子经高能段加速管再次被加速。图为中国原子能科学研究院的 HI-13 串列加速器主体外貌。

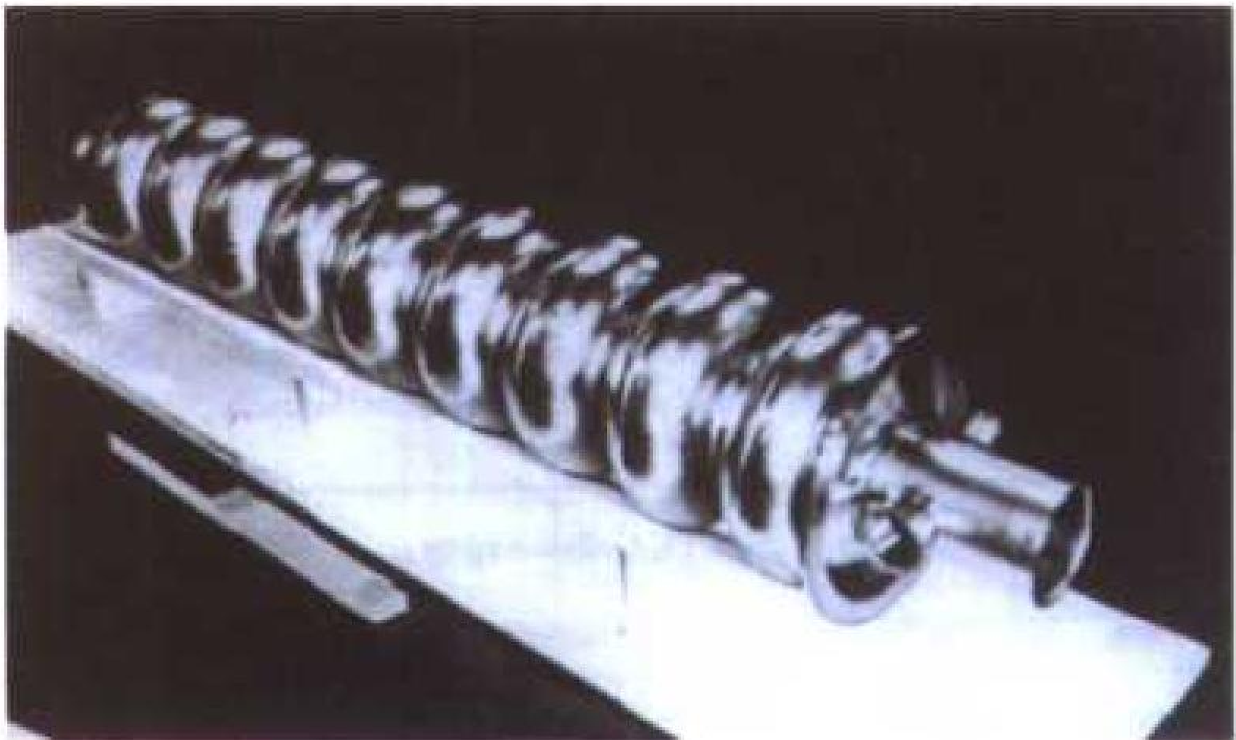
（撰写：秦久昌　审订：关遐令）

chuangru

闯入　intrusion　人、动物和深根植物对低、中水平放射性废物处置系统的侵扰。废物处置场通常设有明显的警示标志或围栏（墙）等防止无关人员进入。处置场的覆盖层设置了专门的砾石、卵石层和混凝土顶板防止深根植物扎入或穴居动物打洞进入处置单元接触废物。但是随着处置场的关闭，警示标志和围栏（墙）可能损坏，人可能无意地进入处置场进行挖掘、打井、筑路、建房、耕作等活动，动物可能侵入打洞，植物根系也可能漫延破坏覆盖层。在处置场关闭后这种人和动植物的闯入侵扰是很难绝对避免的。因此，在处置场的设计阶段就应精心设置防闯入屏障，使无意闯入者的受照剂量控制在国家规定的限值内。（撰写：黄雅文　审订：陈式）

chunni xiezhenqiang

纯铌谐振腔　niobium cavity　由高纯铌材料制造的射频谐振腔，是超导加速器的核心部件——粒子加速腔。在加速器中采用纯铌超导腔的最主要的原因是它可以工作在连续波（CW）模式或高占空比（大于 1%）下。通常，超导腔消耗的射



1.3 GHz 9 串单元超导腔

频功率为铜腔的壁损耗的四万分之一，若再将液氦制冷功率考虑进去，运行超导腔总的功耗是室温腔的二百分之一。这是因为超导腔的射频表面电阻比铜腔的小 5 个数量级，因此其品质因数要比铜腔的高 5 个数量级，约为 $10^9 \sim 10^{10}$。铌的最高跃迁温度为 9.2 K，最高的过热磁场 200 mT，表面有薄薄一层氧化物覆盖之后，化学性质不活泼。像铜一样，铌可以由机械加工成形，缺点之一是在低温下极易吸附气体，焊接必须在真空中进行。如图所示为频率 1.3 GHz，9 串单元的超导腔，束管两端有主耦合器端口和高阶模衰减器接口。

（撰写：赵夔　审订：王传英）

cidao

磁岛　magnetic island　见托卡马克等离子体的撕裂模不稳定。

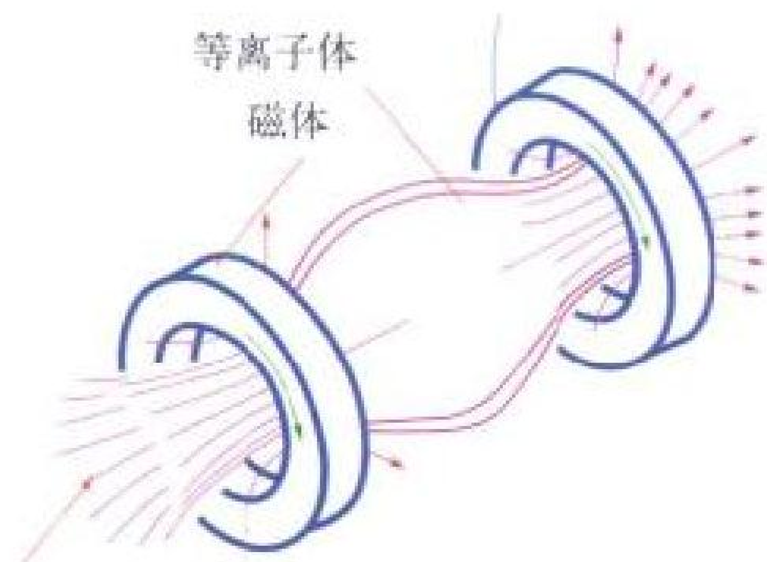
cihua denglizizi zhong de hunzabo yu jingdianlizi huixuanbo

磁化等离子体中的混杂波与静电离子回旋波　hybrid wave and electrostatic ion cyclotron wave in magnetized plasma　局域电荷分离引起的振荡。在非磁化等离子体中，其频率为电子等离子体频率 f_p。在磁化等离子体中，增加垂直于运动方向的洛仑兹力，产生的高混杂波频率为 $\omega^2 = \omega_p^2 + \omega_{ce}^2$，$\omega_{ce}$ 为电子回旋频率，电子振荡而离子静止。对于低频静电波，离子运动而电子必随之运动，对应为低混杂波频率，色散关系为 $\omega^2 = \omega_{ce}\omega_{ci}$，其中 ω_{ci} 为离子回旋频率。这种振荡是局域性的，频率与波数 k 无关，不能在等离子体中传播。考虑了电子热运动，色散关系变为 $\omega^2 = k^2c_s + \omega_{ce}\omega_{ci}$，其中 c_s 为离子声速。在非磁化等离子体中，由于静电离子振荡产生离子声振荡。在磁化等离子体中增加洛伦兹力，改变了离子的运动状态，可以把静电离子回旋波看作磁场对离子声波的修正而产生的分支，色散关系为 $c_o^2 = k^2c_s^2 + \omega_{ci}^2$。

（撰写：钱尚介　审订：黄林）

cijing zhuangzhi

磁镜装置　magnetic mirror device　一种直线型磁约束核聚变装置，端部磁场比中间高，等离子体粒子在高磁场端部反射而被约束，故称磁镜（见图）。沿磁力线轴向运动的粒子、其回旋频率升高、回旋半径减小，磁矩（$\mu = mv_\perp^2/2B$）不变，式中



磁镜装置示意图

中 B 为磁场强度，$v_{\perp}$ 为粒子在垂直磁力线方向的速度，m 为粒子质量。在端部 B 增加，$v_{\perp}$ 增加而平行方向速度 $v_{/\!/}$ 减小，$v_{/\!/}=0$ 粒子即被反射。$v_{\perp}/v>\sin\alpha$ 为约束条件，α 为损失锥，$1/R=\sin\alpha$，R 为中心磁场与端部磁场之比。虽然磁镜具有端部逸出的携能粒子可以直接转换为电能的优点，但各种堵漏方法未见重要成效，其综合参数远低于托卡马克。（撰写：钱尚介　审订：黄　林）

cilixian xuanzhuan bianhuan he cimian

磁力线旋转变换和磁面 rotational transform for magnetic line of force and magnetic surface 见托卡马克等离子体的主要磁流体行为。

ciyueshu dengliziti de bojiare

磁约束等离子体的波加热 magnetic confined plasma heating by waves 利用电磁波对等离子体进行加热。它有多种方法，工作于不同频段，常用离子回旋和电子回旋共振加热。阿尔芬波加热还不成熟，低混杂波加热使用较少。电子与离子在磁场中作拉摩圆周运动，其固有频率分为离子回旋共振频率与电子回旋共振频率，它们分别为几十兆赫与几十千兆赫。共振波被等离子体吸收，对高温等离子体来说，吸收机制主要分为朗道阻尼和回旋阻尼。朗道阻尼使射频能变为沿磁力线的动能，回旋阻尼则使射频能变为垂直于磁力线的动能。离子回旋共振，频率仅几十兆赫，波源技术成熟而价廉，但耦合天线技术复杂。电子回旋共振频率高，常用回旋管作波源，设备较贵，但因其共振局域性极佳，因此用于局部加热以控制等离子体电流分布更有效。（撰写：钱尚介　审订：黄　林）

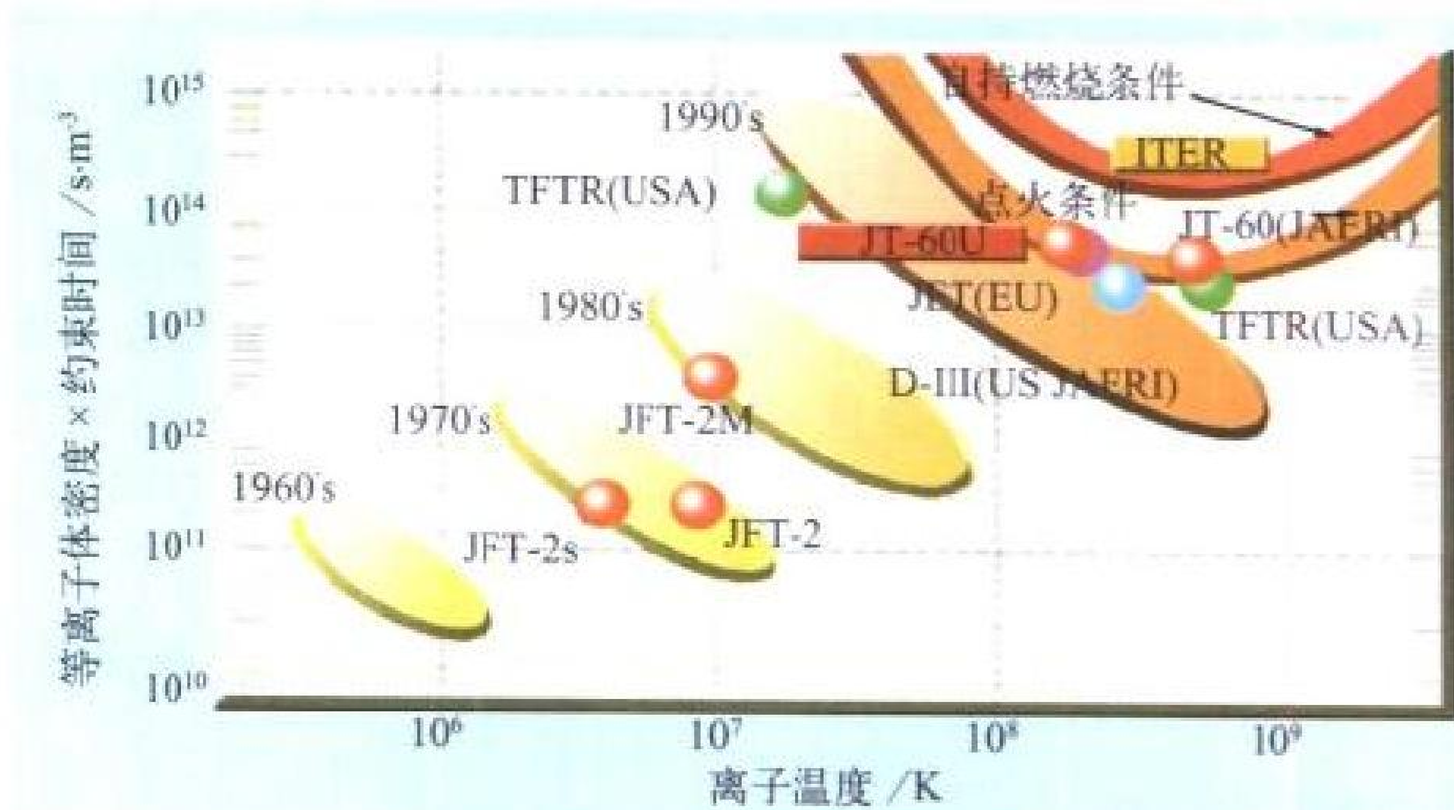
ciyueshu dengliziti de zhongxing lizizhuru jiare

磁约束等离子体的中性粒子注入加热 magnetic confined plasma heating by neutral beam injection 将中性粒子注入等离子体使之加热。高能中性粒子束因不带电荷而容易横越磁力线，中性粒子与等离子体的离子发生电荷交换或因电子碰撞电离变为高能离子而被磁场约束，高能离子与等离子体中的离子库仑碰撞而丢失能量，从而使整体等离子体温度升高。中性束注入加热方法的物理机制清晰，不会引起杂质增加，还可作无感电流驱动、燃料的加入等。但系统庞大复杂，费用较高。从强流离子束源引出几十千电子伏的正电荷离子束，经过中性化室变成中性粒子束。对于大型高参数等离子体，要求中性束能量达数百千电子伏乃至兆电子伏，电荷交换中性化方法效率变低而采用负离子源，负离子源中性束技术也已相当成熟。中性粒子注入加热是首选的加热方法。

（撰写：钱尚介　审订：黄　林）

ciyueshu hejubian

磁约束核聚变 magnetic confinement nuclear fusion 利用磁场约束等离子体进行的核聚变。核聚变要求等离子体温度高达上亿摄氏度，任何实物容器都不可能忍受这个高温。磁约束核聚变利用磁场约束等离子体。高温等离子体具有向外的内压促使它飞散，磁场有磁压力，它由磁场强的一侧指向弱的一侧，这两种力的平衡保持等离子体的平衡。如果在产生等离子体前加上磁场，如托卡马克，磁场被冻结在等离子体中，可以抑制宏观磁流体不稳定。磁约束位形（磁场形态）根据磁约束原理的不同而有许多方式，称为途径。早期的受控热核反应从直线箍缩开始，发展为磁镜，进而开展多途径的探索(见图)。自 1968 年托卡马克研究获得突破性进展后，集中到托卡马克方向，但是仍保留了其他途径的研究。目前，



托卡马克进展

规模、研究水平尚可和托卡马克相比的还有仿星器。1997 年 JET 的聚变功率超过 16 MW，JT–60 U 已达到等效 Q 值稍超过 1。Tore Supra 的高约束模式放电保持时间可长达 2 min。

（撰写：钱尚介　审订：黄　林）

ciyueshu hejubian shiyan zhuangzhi

磁约束核聚变实验装置 magnetic confinement nuclear fusion experiment device 用来作磁约束核聚变实验研究的装置。通常除了规模较小外，与聚变堆的主要区别在于它不进行氘氚反应或反应功率很低。其下一代是聚变工程试验堆，用于氘氚反应物理实验研究和聚变堆工程技术的试验。磁约束核聚变实验装置与一般核实验设施相比，有两个显著的特点。核聚变实验装置是实验工具，也是实验研究对象，不能用实验通道或引出束的办法提供实验研究需要。因此，同一装置上的诊断、加热、加料、控制等系统要不断完善、扩充、更新和改造。另外，不能像裂变堆那样从零功率逐渐发展到大型商用堆。从原理上讲，大型聚变堆（1000 MW 级）比小型堆容易成功，因此，现有聚变堆的设计规模大多在几十万千瓦以上。当前，科学研究是在各种途径对 MHD 行为、输运和边缘物理研究的基础上进行燃烧物理和稳态运行研究以达到建堆的总体目标（见图），因而应按国际上主要研究课题来确定自己的中、近期目标。



磁约束核聚变当前科学研究方向

（撰写：钱尚介　审订：黄　林）

ciyueshu hejubian zhong de yueshu he jiare

磁约束核聚变中的约束和加热 confinement and heating in magnetic confinement nuclear fusion 为获得核聚变能，须把等离子体加热到足够的温度和约束足够长的时间，即常说的两个基本问题：约束与加热。约束是指等离子体能量约束时间，不是放电脉冲长度。能量约束时间与位形和装置规模有重要关系。装置规模直接决定建造和运行费用，因而任何约束的改进都十分重要。等离子体温度升高时，其电导率增加而欧姆加热效率下降，因此单纯欧姆加热大体限于1 keV，采用其他辅助加热方法是必要的。然而，加热常使约束变坏，因而加热时必须同时考察等离子体的约束情况的变化。

（撰写：钱尚介 审订：黄 林）

ciyueshu hejubian zhuangzhi de fuzhu xitong

磁约束核聚变装置的辅助系统 auxiliary system of magnetic confinement nuclear fusion device 磁约束聚变装置中，除磁体、真空室、抽气与送气系统等主机与诊断实验系统之外的系统，它大体可分为供电、冷却、辅助加热、加料与排灰、环境监测与保护系统。供电与冷却系统密切相关。主机与辅助系统密不可分，而且辅助系统的规模及投资随研究水平的提高可占总投入的主要部分。辅助加热系统、加料与排灰系统、环境监测与保护系统也与主机设计目标有关，如：氘氚反应实验必须有氚处理系统及特殊的放射性防护措施。

（撰写：钱尚介 审订：黄 林）

ciyueshu jubian dengliziti de jisuanji shuzhi moni

磁约束聚变等离子体的计算机数值模拟 computer simulation for magnetically confined fusionary plasmas 对等离子体的流体模拟、混合模拟和粒子模拟。它是针对磁约束聚变等离子体的复杂磁场位形、大自由度、多重空间和时间尺度以及带电粒子和电磁场间的自洽相互作用等特点，结合计算机科学的研究手段。20世纪70年代初在输运、平衡位形和撕裂模等研究中采用了基于磁流体理论的模拟，之后，与常规放电和各种辅助加热配套的模拟大量涌现，各种微观不稳定性的线性和非线性研究成了数值模拟的重点。最近出现回旋流体理论，低噪声δf算法使回旋动力学粒子模拟成为可能。托卡马克离子温度梯度不稳定性研究中，用大规模并行处理系统，在三维空间10^7个格点上跟踪了10^8个粒子的运动，这是目前的最高水平。但是，要模拟聚变级的系统，计算机的计算能力还需提高约100倍。 （撰写：董家齐 审订：钱尚介）



磁约束核聚变等离子体的计算机数值模拟结果

ciyueshu jubiandui

磁约束聚变堆 magnetic confinement based fusion reactor 用磁场约束等离子体，能够持续维持聚变反应并获得聚变能和中子的装置。聚变堆由聚变实验装置的基本组成加上包层／屏蔽部件构成。包层是聚变堆的关键部件，聚变中子携带的能量在这里沉积，由冷却剂带到堆外。通过中子与氚增殖剂的核反应产生氚以补给聚变燃料。在包层中还可以进行聚变中子的各种应用。聚变堆设计的专题研究开始于20世纪50年代。综合性的聚变堆概念设计研究始于70年代，90年代进展到工程设计阶段。以利用聚变中子为主的非发电应用反应堆，例如聚变中子源、聚变—裂变混合堆，有可能在聚变堆电站建成前达到商用。（撰写：黄锦华 审订：钱尚介）

C

ciyueshu weixing

磁约束位形 configuration of magnetic confinement fusion 用于约束等离子体的各种磁场，包括外加的和等离子体自己产生的磁场形态的总成。最简单的位形是直线的，从直线箍缩到减少两端损失的磁镜。环形装置没有端部损失，但是漂移不稳定。叠加一个由环向等离子体电流产生的极向磁场，与环向场组合的磁力线绕大环方向形成螺旋，沿磁力线运动的粒子的轨迹遍及不同小半径（等离子体半径）位置，可消除漂移不稳定性。根据环向磁场与极向磁场强度和相对比例、极向磁场的产生方式，环形装置分为两大类。托卡马克装置中，由等离子体电流产生的极向场是维持位形所必需的。如果极向场由外磁体产生，则有利于稳态运行，即仿星器位形，它可以在高β值下运行，但磁体系统极为复杂，研制和运行成本高。 （撰写：钱尚介 审订：黄 林）

ciaxi yuansu

次锕系元素 minor actinides (MA) 辐照过核燃料中，除铀、钚以外存在的少量其他锕系元素，如镎、镅、锔等。中译文中有人译作次要锕系元素或次量锕系元素。次锕系元素均为α放射性核素，半衰期长，其中^{237}Np的半衰期达2.14×10^6 a，要放置几百万年才能达到无害水平，因此包含次锕系元素的核燃料后处理高放废液必须与生物圈长期隔离。目前有两种可能的处理与处置途径：(1) 将高放废液玻璃固化，再放入地下700～800 m处贮存；(2) 将废液中残留的铀、钚，次锕系元素及锶、铯等裂片元素提取出来，加以利用或嬗变成短寿命核素，高放废液的大部分则转变成中低放废物，可以近地表处置，这大大提高了废物管理的经济性与安全性。

（撰写：焦荣洲 审订：林漳基）

cilinjie anquan monishiyan xitong

次临界安全模拟实验系统 subcritical safety simulation experiment system 为了判断裂变材料在生产、加工、运输、贮存及核爆炸装置装配操作过程的次临界安全程度进行次临界度测量的实验模拟系统。由于核武器所采用的裂变材料均为高富集度的金属铀（^{235}U占90%以上）或钚金属材料元件，因此裂变材料系统属于快中子增殖系统。系统的设计将一部分裂变元件固定于托板上，另一部分安装于可升降的传动杆上。为了实验安全，采取遥控及“慢进、快退”操作，实验时将中子源置于裂变体的中心，当中子增殖超过预置的上限值时，活动部分的元件充当“安全块”，迅速快退分离，使系统处于深次临界状态。当活动部分“慢进”与固定部分完全密合时即为完整的实验系统。系统可以用水或石蜡作为反射体以模拟人体。反射体也可以分为几部分，其中一部分可以遥控传动装配。当中子增殖超过上限值时，即迅速分离。实验采用中心增殖法，为了使实验过程中中子能谱变化较小，在测量中子增殖时用贫化铀或铁作为裂变材料的替换物质。探测器用BF_3计数器，可以单独使用，也可以将BF_3计数管

插于石蜡反射体中。含裂变材料和含替换材料系统的中子记数之比值即为系统的中子增殖 m，改变裂变材料之装载量即可得到中子增殖倒数的临界外推曲线，由此可测定模拟系统的次临界度，从而可判断这种操作过程的次临界安全性。

（撰写：赖祖武　审订：郑绍唐）

C

cilinjie anquan shiyan

次临界安全实验　subcritical safety experiment　为了确保核武器用的裂变材料在生产、加工、运输及装配过程中均处于次临界安全状态所进行的实验。在确定的系统中，临界质量可以通过理论计算得到，但上述各个环节中中子反射条件差别很大，而且受许多因素影响，这些因素变化也很大。因此，必须建立相应的环境模拟系统直接进行实验，以确定该系统所处的次临界度。特别在核武器研制的早期，缺乏必要、可靠的实验数据，进行次临界安全实验是研制核武器的关键技术之一。由于核武器中裂变体均为金属球形（或近似球形），裂变系统的变动主要是反射层条件的变动。实验一般采用中心增殖法，即将实验的中子源置于活性区中心，测量有裂变体和无裂变体时的中子记数之比，也即中心增殖 m。当系统达到临界时，$m=\infty$。将中心增殖倒数 $1/m$ 与活性区装载量 M 作图外推至 $1/m=0$ 处即可求得临界质量 M_c。这样就可以求得装量 M 时系统的次临界度 $\eta(\eta=M/M_c)$，从而判断该系统的次临界安全程度。为了在较深的次临界状态下，仅用较少的实验点取得较精确的实验结果，在实验中还要采取一系列措施，如尽量保持中子能谱及几何因素不变，保持系统装配的良好重复性，建立可靠的安全保护控制系统以及对临界外推曲线进行处理等。（撰写：赖祖武　审订：郑绍唐）

cilinjiedu

次临界度　subcriticality　表征一个含裂变材料系统的次临界程度的量。在不改变此系统状态的条件下，求此系统的临界质量 M_c，则裂变材料实际装载量 M 与临界质量之比值 $\eta(=M/M_c)$ 即为次临界度。（撰写：赖祖武　审订：郑绍唐）

cilinjie zhuangzhi

次临界装置　subcritical assembly　有效中子增殖因子总是小于1的反应堆物理实验装置。指数装置就是一种次临界装置。它利用外中子源作用在该装置的一个侧面，通过测量按指数规律衰减的中子注量率来确定反应堆物理参数，也称为指数堆。在次临界装置中，核燃料、慢化剂（快堆次临界装置无慢化剂）和结构材料的比例和布置都与所研究的反应堆栅格相同。它的几何尺寸比临界尺寸小，本身不具备维持自持链式反应的条件。为了维持链式反应，必须引入一个稳定的外中子源。一旦撤出外中子源，装置内的中子注量率就会随时间衰减直至趋于本底水平。稳定的外中子源在装置内形成稳定的中子注量率分布，通过测量该分布可以确定材料曲率等反应堆物理参数。次临界装置的特点是经济、安全、灵活。指数装置用的燃料少，次临界度较深，只用于研究以石墨或重水作慢化剂的栅格，其测量精度比通常的次临界装置稍差。

（撰写：史永谦　审订：罗璋琳　许汉铭）

cisheng youkuangwu

次生铀矿物　secondary uranium mineral　内生的四价铀矿物（沥青铀矿、晶质铀矿等）在表生氧化的条件下，矿物中的四价铀被氧化成六价铀，并与氧离子结合形成铀酰离子，进而形成的各种铀酰矿物。在自然界含铀的水溶液也可以通过蒸发作用等形成铀酰矿物，因此现在次生铀矿物泛指铀酰矿物。目前已发现的次生铀矿物有140多种，占铀矿物总数的85%以上。大多数次生铀矿物很难形成工业规模的堆积，只是在内生矿床的氧化带和干旱地区富铀岩石区的河谷盆地处可形成以次生铀矿物为主的铀矿石。（撰写：赵凤民　审订：胡绍康）

CsI Tl ji CsI Na shanshuoti

CsI(Tl)及CsI(Na)闪烁体　CsI(Tl) and CsI(Na) scintillators　一种由无色透明的碘化铯晶体构成的无机闪烁体。它通常以铊或钠作激活剂。其符号为CsI(Tl)和CsI(Na)。它们在室温下的一般性质见表。和碘化钠闪烁体相比，它具有更高的原子序数及密度，因此它的单位体积对γ射线的探测器效率较高。但其能量转换效率较碘化钠低。CsI(Tl)闪烁体不易潮解，使用时可以不密封；除用于测量γ，X射线外，还可用于测量重带电粒子；具有较好的能量分辨率，还能经受较猛烈的震动、冲击以及大的温度梯度。广泛用于测井、空间探索和军事科学等环境条件比较苛刻的场合用以代替NaI(Tl)闪烁体。

CsI(Tl)及CsI(Na)闪烁体的一般性质表

主　要　性　能	CsI(Tl)	CsI(Na)
密度/(g/cm³)	4.51	4.51
熔点/°C	621	621
发射带/nm	550	420
闪烁衰减时间的主要成分/μs	1.0	0.63
相对于NaI(Tl)的光输出/%	45	85
折射率：Na的D线(589.3 nm)		1.787
发射带处	1.80	1.84

（撰写：汲长松　审订：彭华寿）

cusuan youxianna liucheng

醋酸铀酰钠流程　uranyl sodium acetate process　用醋酸钠作沉淀剂从辐照过核燃料溶液中分离纯化铀和钚的沉淀法流程。该流程的原理是：醋酸钠与硝酸铀酰反应生成醋酸铀酰钠，六价钚生成醋酸钚酰钠与醋酸铀酰钠共沉淀，而三、四价钚和裂变产物不能生成沉淀。因此，在氧化介质中沉淀可使铀、钚与裂变产物分离；而在还原介质中沉淀可使铀、钚分离。重复采用氧化—还原介质中的沉淀循环，即可达到分离纯化铀和钚的目的。（撰写：马桐泉　审订：林漳基）

cuiqu chunhua

萃取纯化　extracting purification　使用溶剂萃取法从含有某种化学物质的溶液中去除杂质，降低杂质含量，最终制备符合一定要求的化学物质的过程。只有杂质与被萃取化学物质的分配系数相差较大的情况下才能达到萃取纯化的目的。采用萃取法分离物质的结果，一般不会生成固相，可排除在生成沉淀物时对杂质的夹带，因此比沉淀纯化要优越得多。此外，由于从有机相和反萃取液中回收铀与其原始浓度的关系较小，因此克服了在沉淀纯化工艺中铀的回收率随溶液中铀原始浓度的减少而降低的缺点。萃取纯化在天然铀纯化中具有十分重要的意义。（撰写：牛玉清　审订：程光荣）

cuiqu pingheng changshu

萃取平衡常数　extracting equilibrium constant　根据质量作用定律，萃取体系达到萃取平衡时，萃取过程化学反应的热力学平衡常数。萃取平衡是指在确定的萃取体系内和一定的

工艺及操作条件下，被萃取组分在两液相（一般为水相和有机相）之间所具有的确定的平衡分配关系。在达到萃取平衡后，这一分配关系并不随接触时间的加长而改变。有时也称为萃合常数或热力学常数。

（撰写：牛玉清　审订：程光荣）

cuiqu pingheng quxian

萃取平衡曲线　extracting equilibrium curve　萃取平衡后，把一系列处于平衡状态的两相组成标志到直角坐标图上所得到的相应的分配曲线。因为萃取平衡与温度有关，所以又叫萃取等温线。萃取平衡曲线的形状、由萃取剂、稀释剂、添加剂、络合剂的种类与浓度，被萃取物存在的形态以及两相中发生的各种化学反应等因素所决定。利用萃取平衡曲线可以计算出不同平衡状态下被萃取物的分配系数；确定该浓度萃取剂的理论饱和容量；确定萃取反应的化学计算量和推论有机相中被萃取物的组成情况；此外，添加一条萃取操作线则可计算逆流萃取理论级数。

（撰写：牛玉清　审订：程光荣）

cuiqu ruhua

萃取乳化　emulsification　在不互溶的有机相和水相共存的体系中，当一相以微细粒子高度分散在另一相中形成混浊不透明并且稳定似乳状液体的现象。水相在有机相中分散产生的乳化现象称为油包水型（W/O）乳化，反之称为水包油型（W/O）乳化。乳化产生的原因较为复杂，表面活性物质及固体悬浮物的存在，料液粘度过大，两相密度差太小，搅拌强度过于激烈等都可能使两相发生乳化。溶剂萃取过程中，必须避免乳化的发生，以达到传质完成后两相分别迅速聚集和分离的目的。采取稀释料液、升高温度、加入某种电解质，或者将乳化液置于强电场中，有可能消除乳化，使两相逐渐分离，这称为破乳。

（撰写：程光荣　审订：牛玉清）

cuiqu sepu fenli

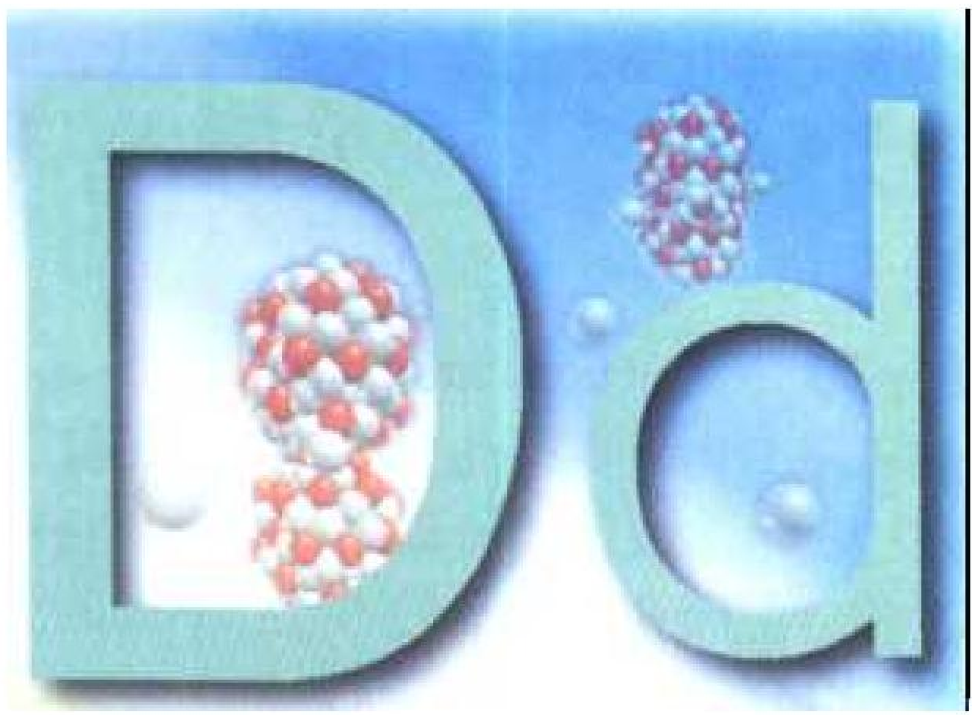
萃取色谱分离　extraction chromatographic separation　也称为反相分配色谱分离。将有机溶剂吸附在惰性支持体上作为色谱柱固定相，水溶液作为流动相，被分离物质经过在两相中连续多次的分配而获得分离的方法。早期的液液分配色谱分离（称为正相分配色谱分离）则是将水吸附在惰性支持体（如硅胶、滤纸）上作为固定相，以有机溶剂流过支持体作为流动相来实现物质分离的。因为萃取色谱法兼备了溶剂萃取法的高选择性和色谱法的高效性双重优点，在分析化学、无机化学和放射化学中的应用十分广泛。但它有萃取剂含量低、萃取剂容易流失的缺点。20 世纪 80 年代在单体共聚过程中加入萃取剂，使它“固化”在高聚物网络中形成的萃取树脂，具有萃取剂含量高、萃取剂流失量较低的优点。

（撰写：罗文宗　审订：崔安智）

cuiqu xunhuan

萃取循环　extracting cycle　通过萃取、洗涤和反萃单元操作的依次进行，组成一个使被萃取物从水相进入有机相，其后再从有机相回到水相的完整过程，从而达到被萃取物的分离、浓缩和提纯的目的。作为萃取工艺过程，有时还包括贫有机相洗涤、再生、溶剂回收等工序。

（撰写：牛玉清　审订：程光荣）



daji ruanmubiao nengli

打击软目标能力 capability of striking soft target 核弹头毁伤软目标的能力。软目标是指城市、工业基地、军事基地、港口等暴露在地面或浅地表面下设施等抗压强度不高的目标。核弹头打击软目标的能力，一般用等效百万吨数(EMT)来表示，对威力为百万吨级的核弹头，其EMT值与其威力的三分之二次方成正比。这是因为核爆炸能量呈球状向周围释放，对地面目标起毁伤作用的只是其中一部分。可见当核弹头总威力相等时，用小威力多弹头打击软目标的效果，比大威力单弹头的效果好。

（撰写：段占元 修订：叶名兰 审订：唐西生）

daji yingmubiao nengli

打击硬目标能力 capability of striking hardened target 核弹头摧毁硬目标的能力。硬目标是指导弹地下发射井和地下指挥所等具有较高抗压强度、不易被摧毁的目标。核弹头打击硬目标的能力，通常用摧毁力(毁伤力) K 来表示，它与其等效百万吨数EMT成正比，与命中精度CEP(圆概率偏差)的平方成反比。显然，若命中精度不变，弹的威力提高一倍，K 值约增大0.6倍，而当核弹威力值不变，命中的圆概率偏差值降到一半，则 K 值增大3倍。所以，欲提高打击硬目标能力，提高命中精度比增大核弹威力更为有效。

（撰写：段占元 修订：叶名兰 审订：唐西生）

daguimo baofu zhanlüe

大规模报复战略 strategy of massive retaliation 这是第二次世界大战后美国核威慑理论产生的第一个军事战略。它以核优势为基础，以摧毁与其对立的社会制度和大量消灭对方的人口相威胁，以阻止危及自身利益的一切类型的战争为目标的核军事战略。1954年1月12日，艾森豪威尔政府的国务卿杜勒斯在纽约外交学会以《外交政策的演变》为题发表演讲，正式宣布美国将奉行“大规模报复战略”。当时尽管苏联的核力量正开始进入较快发展的时期，但其战略核武器运载工具只有数量有限的中程螺旋桨轰炸机，因此还难以对美国本土构成直接的核威胁。与此同时，美国核武器的数量迅速增加，质量也迅速提高。这一切使得美国政府自认为拥有绝对的核优势，有足够的核力量对苏联进行毁灭性打击而不用担心对方的核报复。同时，朝鲜战争失败后，美国国内许多军政界人士认为，美国常规力量在朝鲜战争中无节制的发展，使美国经济难以承受，要求改变以常规军事力量为主，而以核武器为补充手段的战略。“大规模报复战略”就是在这种背景下产生的。“大规模报复战略”表现出美国早期核威慑理论与政策的简单化和矛盾性。随着苏联核力量的迅速发展，美苏间逐步形成了“相互威慑”的战略格局，从而事实上就动摇了“大规模报复战略”的基础。

（撰写：段占元 审订：唐西生）

dajingli xinkuai

大晶粒芯块 large grain pellet 平均晶粒尺寸达到25～45 μm的芯块。该晶粒度大于常规设计的上限值。大晶粒芯块中气泡扩散到晶界的路程长；晶界减少，使裂变气体难以从晶界经开裂通道释放；同时，在较低温度下，大晶粒芯块抗肿胀能力有所增强。此外，加添加剂的芯块蠕变速率增加，减缓芯块—包壳相互作用。大晶粒芯块制造工艺有高温烧结工艺和加添加剂(0.5% Nb_2O_5 或0.25%以下的 Al_2O_3–SiO_2 粉等)的工艺。它们都要求严格控制粉末特性及烧结制度来改善芯块性能。

（撰写：王树人 审订：李文埮）

damianji dengliziti cailiao biaomian gaixing

大面积等离子体材料表面改性 large area plasma material reform 运用等离子体技术对材料大面积表面改性的技术。当电极间距离小于帕邢方程给出的阴极区最小尺寸时，必须增高电压，甚至可达数千伏，这种受碍异常的辉光放电又称为高电压辉光放电。可在较低气压下工作，可承受较高电压，鞘层较厚，能形成大面积高功率等离子体。为了形成大面积电弧等离子体，可用相互独立的供电回路的多个小型电弧，其电极尺寸≤10 cm。大面积弧极板大至几十厘米，弧点烧蚀金属表面弧根处的微小凸起后可移向别处，弧作快速无规则运动，形成宏观均匀的等离子体。适当安排磁场有助于改善靶材烧蚀均匀性。微通道放电和电晕放电等均可构成低功率密度的大面积等离子体。（撰写：钱尚介 审订：李启瑞）

dapokou shishui shigu

大破口失水事故 large break LOCA (LBLOCA) 压水堆核电厂中由冷却剂管道双端剪切断裂引起的事故。它是一种假想的设计基准事故，属IV类工况（极限事故）。在冷管段断裂情况下，事故进程分为喷放、再充水、再淹没和长期冷却四个阶段。(1)喷放阶段：先是欠热水喷放，而后是汽水混合物喷放。由于堆芯冷却剂流量大大下降、停滞或倒流，元件包壳温度上升，达到第一峰值。喷放阶段大致将持续10～30 s。

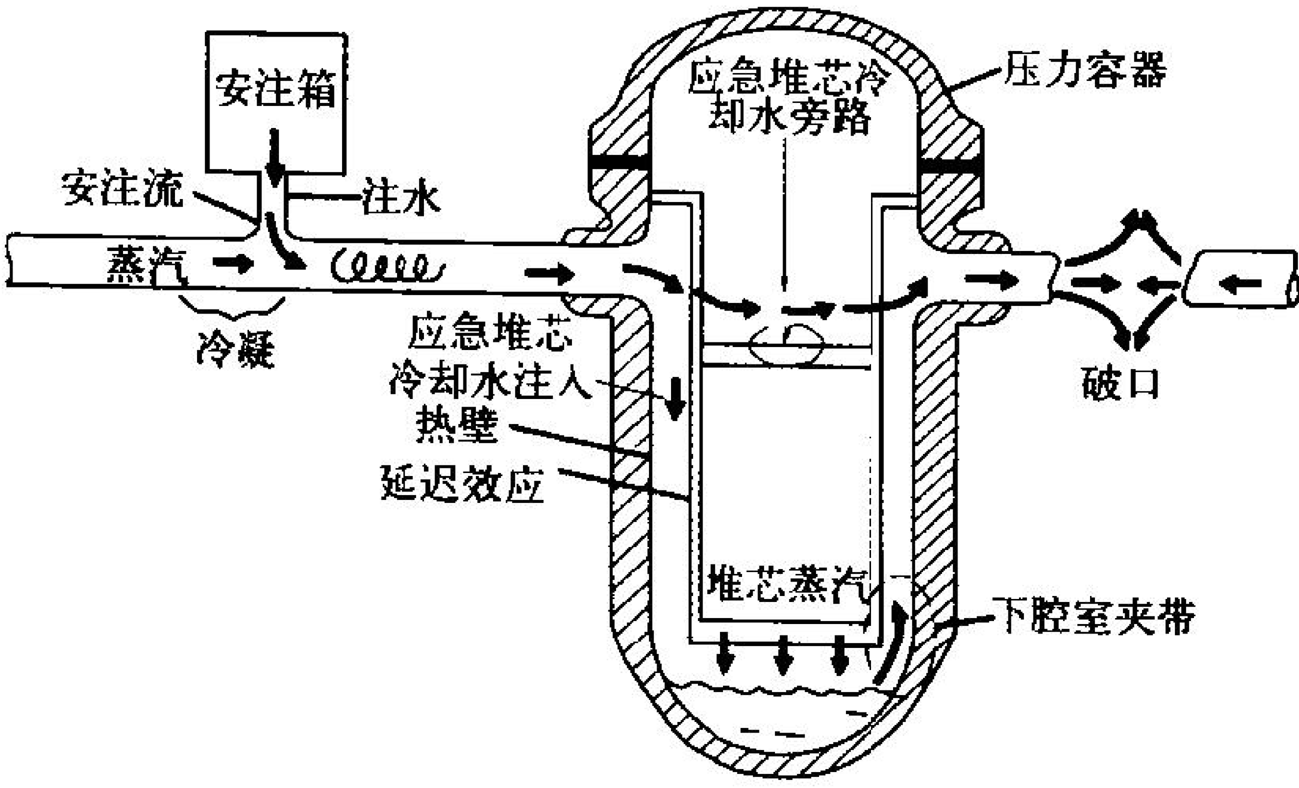


图1 再充水过程示意图

注：执照申请的审评计算保守地假定破口蒸汽流量降至零以前全部应急堆芯冷却水均从旁路流失

(2) 再充水阶段：当一次冷却剂系统与安全壳之间的压力差减至很小时，破口流量减小，应急堆芯冷却水除旁路流失外均注入压力容器（见图 1），使水位开始逐渐上升，直至堆芯底端。此阶段堆芯完全裸露，燃料元件温度急剧上升。(3) 再淹没阶段：冷却水进入堆芯，使元件包壳温度达到第二峰值后开始下降。水位最终升到堆芯顶端，再淹没阶段结束。这大约于破口发生后 1～2 min 完成。(4) 长期冷却阶段：低压安全注射泵的入口转接到安全壳地坑，转入再循环冷却。长期冷却应维持很长时间。热管段大破口失水事故由于在喷放阶段堆芯流量没有停滞，而且没有应急冷却水的旁路流失现象，因而严重性比冷管段破口轻得多。大破口失水事故进程如图 2 所示。1974 年美国核管会确定的大破口失水事故分析方法一直沿用多年，各国核工业界均认为该方法保守性过大，使分析的过程与实际过程相差很远。至 20 世纪 80 年代初，美国、法国等先后采用了最佳分析加不确定度计算来考虑大破口失水事故。所得的分析结果，可减少保守分析中加入的大部分裕量，也使核电厂应急堆芯冷却系统的设计参数有较大的改进。

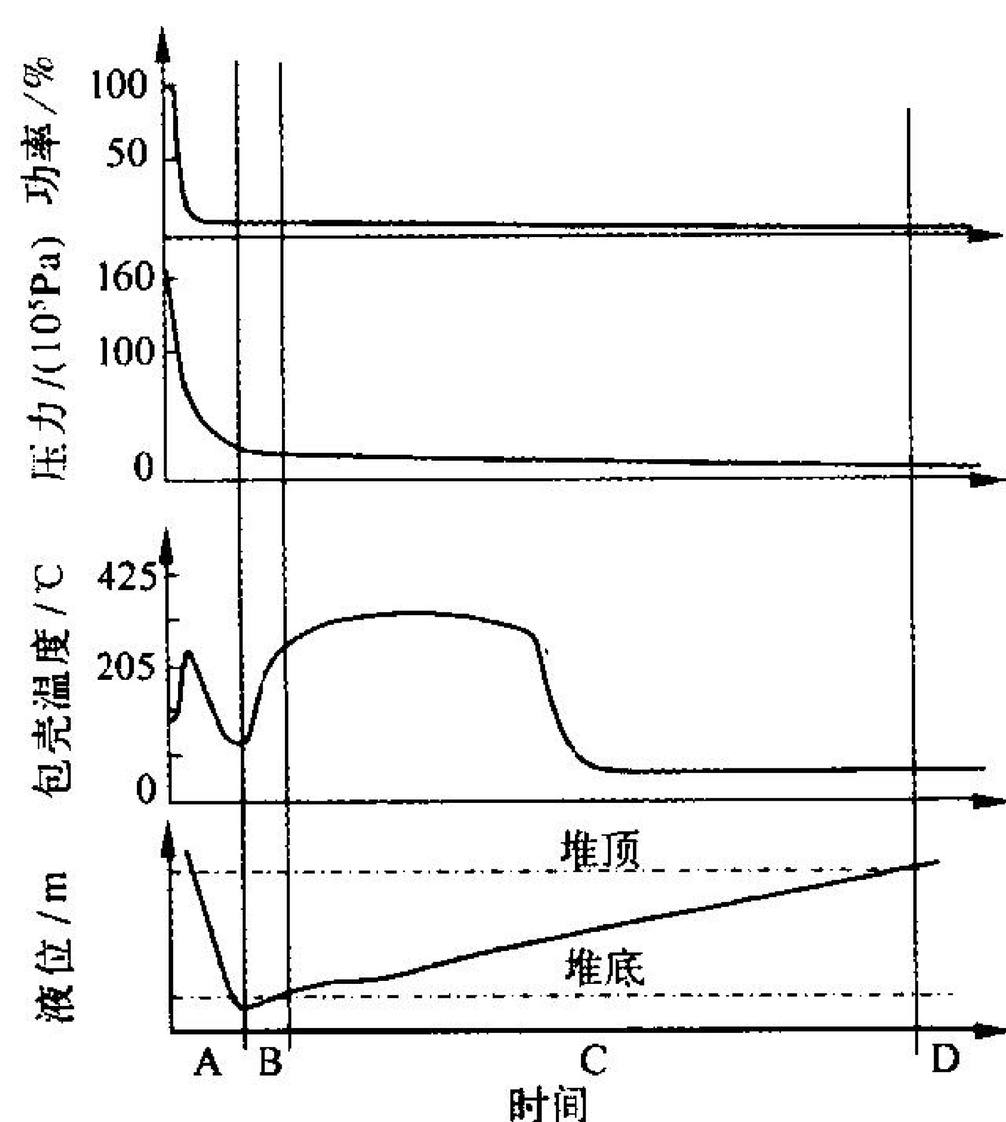


图 2 大破口失水事故进程

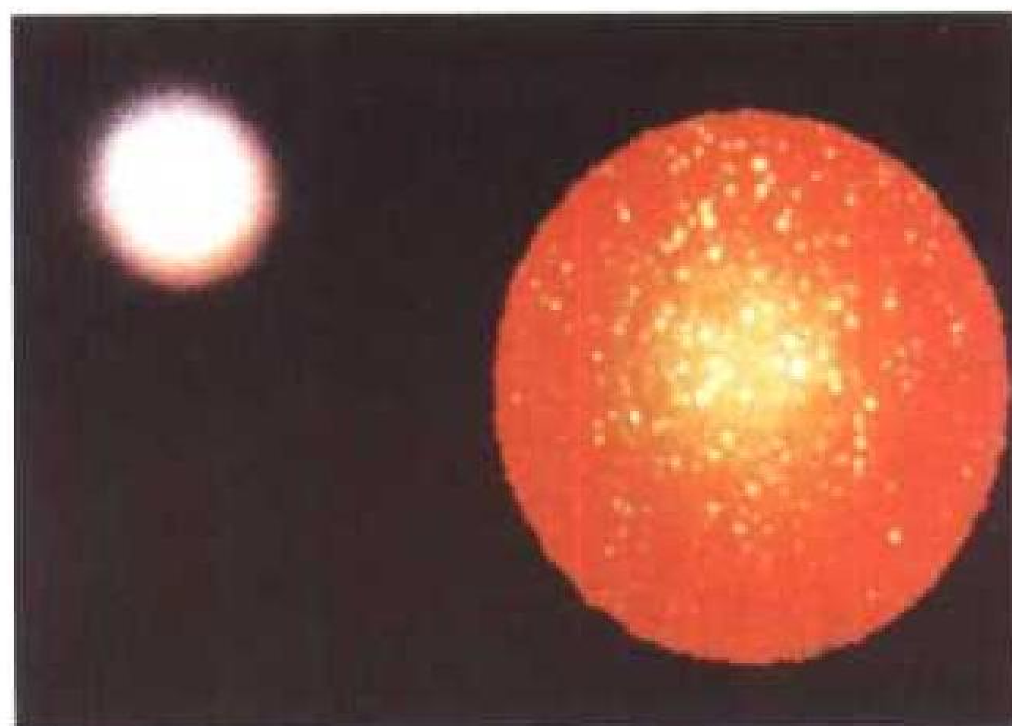
A—喷放；B—再充水；C—再淹没；D—长期冷却

（撰写：俞尔俊 审订：陈叔平）

daqiceng hebaozha

大气层核爆炸 nuclear explosion in atmosphere 爆炸高度在 30 km 以下的大气层中进行的空中、地面核爆炸。大气层核爆炸可分为地（水）面核爆炸和空中核爆炸。爆炸时按时间先后依次出现闪光、火球、烟云和蘑菇状烟云，核爆炸瞬间首先看到比太阳亮得多的强烈闪光，其持续时间不超过 1 s，可观察到的距离达数百千米。闪光过后出现核爆炸火球（见图）。

空中爆炸时火球圆而明亮，地面爆炸时接触地面呈半球形。随后，火球不断膨胀并上升，同时向外发出光辐射。火球的发光时间和最大直径随爆炸威力增大而增加（参见核爆炸火球）。与火球发展的同时生成核爆炸冲击波，以超声速向外传播。空爆时冲击波经地面反射后又穿越火球使火球变形，呈上圆下平的馒头状，底面向内凹陷。火球熄灭后，冷却成灰白色或棕褐色烟云，继续膨胀、上升。同时，由于爆心附近形成的负压对周围大气的抽吸作用和冲击波在地面的反射，在爆心投影点附近地面掀起巨大的尘柱并快速上升，追赶烟云。经过一段时间追及烟云形成高大的蘑菇状烟云。如果是地爆，则尘柱和烟云连接在一起上升，同时有大量土石碎块抛出并形成弹坑。蘑菇状烟云达到稳定不再升高时的时间、高度和直径都与爆炸威力和爆炸高度有关。随后在高空风的作用下向下风方向飘移，烟云中的放射性物质向大气和地面沉降，造成不同程度的放射性沾染。当冲击波传到不同距离处带来巨大响声，在较远距离上往往可以听到连续几次响声。



我国首次氢弹爆炸的火球
（左上方为太阳）

大气层核爆炸是核袭击中的重要爆炸方式，例如第二次世界大战即将结束时，美国对日本的两次核轰炸 都是采用大气层爆炸方式造成大规模杀伤和破坏。大气层核爆炸的毁伤因素可分为瞬时毁伤因素和长期毁伤因素，瞬时毁伤因素有：光辐射、冲击波、早期核辐射和核电磁脉冲，持续时间不会长于 10～100 s；长期毁伤因素有：放射性沾染，特别是地爆，时间长达几个月到几年，视核武器裂变份额、威力、爆炸高度和气象条件而定。

（撰写：乔登江 审订：吕 敏）

daqiceng hebaozha quyang jishu

大气层核爆炸取样技术 sampling technology of atmosphere nuclear explosion 大气层核试验中为获取放射化学分析用的样品所采用的技术。大气层核爆产物在高温高压作用下全部气化，形成具有强放射性尘埃的蘑菇云，在地爆、塔爆或低空爆炸时，大量土壤被卷入火球形成烟云和尘柱。蘑菇云的高度、直径、厚度与核爆炸威力有关。大气层核试验中有多种取样方法：由携带有取样器的有人驾驶飞机或无人驾驶飞机（见图）在爆炸后某一时刻穿云取样；用高炮向烟云发射带有取样滤材的降落伞，即炮伞取样；用带有取样器的取样火箭命中烟云，在它们落地后回收。飞机和火箭取样时，取样器中的滤材或丝棉采用双层不锈钢丝布保护，防止高速飞行中气动加热烧毁或冲破滤材。烟云中的放射性尘埃微粒粒度小的小于微米，大的达数百微米，穿云取样样品粒度在微米级至几十微米。比例爆高较小时，可以在离爆心三四十千米内下风向的热线区域布放集样盘收集 80～200 μm 的放射性沉降粒子。大气层核爆取样，要尽可能获取不同粒度的样品，便于放射化学诊断分析中作分凝粒度关联处理。



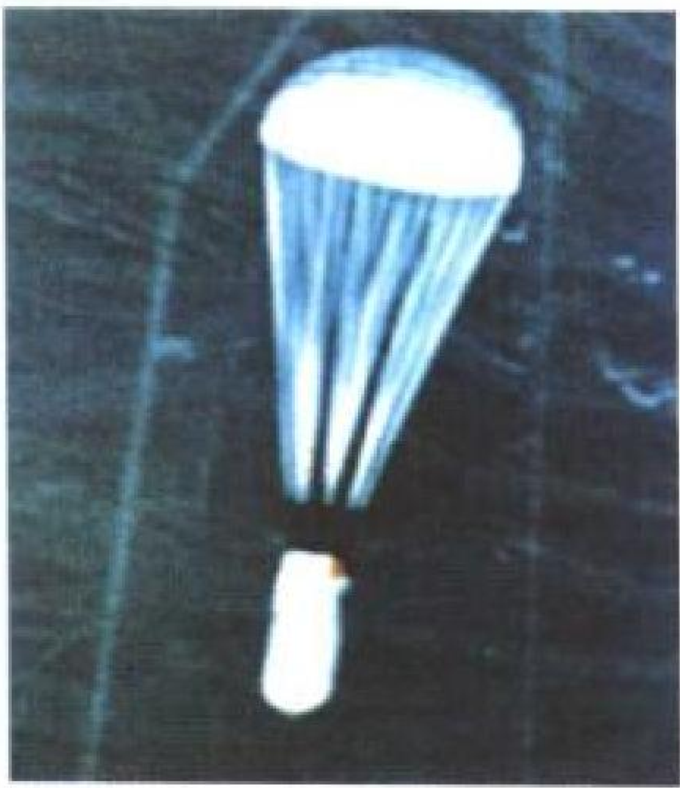
我国的无人驾驶取样飞机

（撰写：陈 达 审订：吕 敏）

daqiceng heshiyan

大气层核试验 atmospheric nuclear test 爆炸高度在 30 km 以下的大气层中进行的空中、地面核试验。各个核国家早期都采用大气层试验。大气层核试验便于实施，通过试验除了可以获得爆炸威力等核装置的参数以外，还可以进行核爆炸效应的研究，可以对冲击波、光辐射、核辐射、电磁脉冲及

放射性沉降等各种毁伤效应进行参数测量和效应研究。核爆炸火球不接触地面时称空中核试验。空中核试验一般采用飞机空投核弹（见图）进行，选取较大爆炸高度进行空中试验可以避免地面的放射性沾染，有利于回收效应物进行研究，但由于爆心不固定，且只能在离爆心较远的距离上布置测点，不利于物理测量。采用地面或铁塔方式的核试验，爆炸点固定，便于物理测量，但将造成局部严重沾染。还可以利用气球悬挂核装置进行大气层核试验（参见大气层核爆炸）。



我国首次氢弹核试验空投的核炸弹

（撰写：吕 敏 审订：乔登江）

daqiceng heshiyan de anquan wenti

大气层核试验的安全问题 safety problems of atmospheric nuclear test 大气层核爆炸对人员和装备引起的危害及其防护问题。对参加核试验的人员可能的危害因素有：冲击波的破坏、光辐射的烧伤、核辐射或放射性沾染造成的辐射损伤以及火球闪光引起的人员眼底烧伤或闪光盲。需要根据爆炸威力、爆炸高度等条件计算出诸毁伤因素的变化规律，结合国家规定的安全限值，对爆炸时所有人员综合安全边界作出



核爆后辐射侦察人员首先出发，进入沾染区

预报。在预报的基础上制定本次试验的场区安全保障规定，例如允许参观核试验的距离，佩戴高倍数墨镜的规定，进入爆心附近沾染地区的人员穿着防护服、佩戴剂量仪（见图）的规定等。核试验场外大范围地区的大气放射性浓度和地面放射性沾染程度需要特别注意，大威力核爆炸试验时一定要选择较大的比例爆高，并且选择比较适宜的气象条件。地面核爆炸时局部地面放射性沾染最为严重，要更加重视场区气象条件的掌握。在一定的气象条件下，冲击波传播中会发生聚焦现象，可能造成远距离民房损坏，在空中聚焦可能对飞机造成威胁。直视火球可能造成远距离人员的闪光盲。

（撰写：吕 敏 审订：乔登江）

daqi kuosan

大气扩散 atmospheric diffusion；atmospheric dispersion 污染物质在大气中经历的空间扩展、分散及其他各种物理和化学转化过程。狭义指污染物质的气流搬运和大气湍流的扩散混合。广义指污染物质进入大气后的稀释、转化并最后从大气中去除的所有环节和过程。这些过程包括污染物释入大气的动力和热力抬升，建筑物或地形地物对污染物烟羽的扰动，不同大气运动尺度的气流输送和湍流扩散，干沉积、湿沉积和化学转化过程等。大气扩散是从污染物排放到产生环境效应之间必经的途径，往往同时存在正反两方面的作用。总体上说，风的输送和湍流扩散使污染物质的空间分布趋于均匀化，对减轻局部地区污染有利，但污染物分布范围扩大。化学转化使原生的污染物质转变为二次污染物，在许多情况下由此引起的环境影响甚至大于原生污染物。干沉积和湿沉积是大气污染物最终得以去除的途径，避免了污染物在大气中过多积累，但过量酸性物质的沉积可导致土壤和水体酸化和危害植被。不同的污染物性质、排放源特性、排放时间、地形和天气气象条件等对大气扩散的效果有极大的影响。对大气扩散过程和机理进行研究并有针对性地建立定量模式是了解大气污染物的时空变化规律和评估其环境影响的关键，有重要的学术价值与应用意义。（撰写：蔡旭晖 审订：陈家宜）

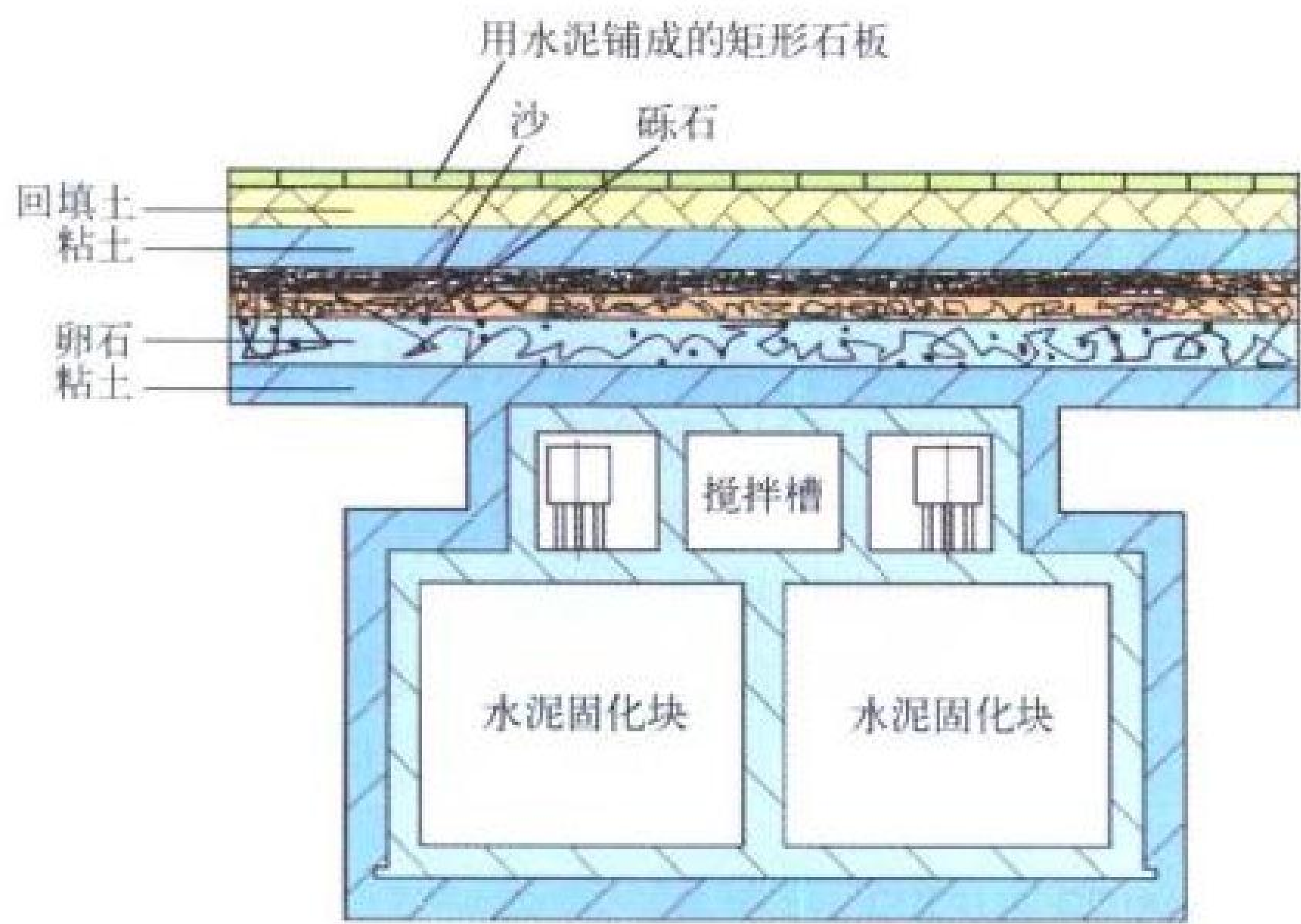
daqi wendingdu

大气稳定度 atmospheric stability 与浮力作用相联系的大气运动状态及其变化能力和趋势的量度，大气扩散问题中用于区分湍流扩散能力、选取扩散参数的指标。它分为静力学稳定度和动力学稳定度。前者指不考虑大气的实际运动状况，以大气平均位温梯度$\partial\theta/\partial z$为指标定性地判断空气微团进行上下运动的能力。$\partial\theta/\partial z$为负值的时候，上升的空气微团能不断浮升，下沉的空气微团将持续下沉，称为不稳定。$\partial\theta/\partial z$为正值时，不管是上升或下沉的空气都有返回某一平衡高度的趋势，称为稳定。$\partial\theta/\partial z$等于零时，空气微团可始终保持随遇平衡状态，称为中性。低层大气中大体上分别对应于逆温、递减和近中性温度层结。动力学稳定度通常以湍流运动因浮力做功获得或损失的动能与摩擦应力做功的相对大小或相联系的参数为指标。其中一种是以位温梯度和平均风速梯度定义的梯度型理查逊数，表达式是$R_i=(g/\theta)(\partial\theta/\partial z)/(\partial u/\partial z)^2$。定性上动力学稳定度与静力学稳定度相当，按$R_i$符号的正负仍分别冠以稳定和不稳定的名称，数值近于零称为近中性。理查逊数为负的时候湍流运动可从浮力做功获得动能，其绝对值大则湍流发展旺盛扩散能力强。R_i为正时湍流减弱扩散能力也弱，特别是当R_i大于某一临界值R_{ic}时湍流趋于消失。大气总是处于不断运动中，其湍流状态以动力学稳定度来衡量更为恰当。为使用方便，实际问题中常把大气稳定度量化地划分成若干等级，并从较容易获取的气象要素判断等级，即所谓的稳定度分类与稳定度分类法。如以静力学稳定度为依据的ΔT分类法，以动力学稳定度为出发点，使用常规气象资料来划分的Pasquill–Turner 分类法等。（撰写：蔡旭晖 审订：陈家宜）

datiji shuini jiaozhu chuzhi

大体积水泥浇注处置 waste disposal by bulk grouting 将放射性废液与水泥配料混合成的浆液浇注并固结于地下大体积混凝土贮存池内进行处置的过程。该处置方式只适用于具有地质稳定性好、气候干旱、降雨量少、地下水位低、人口密度小、经济不发达和无可供开发利用的资源的场址，并有大量低、中水平放射性废液可就地处置的核设施。该工艺是在地下一定深度处建造若干钢筋混凝土池，在池顶盖板上安

装搅拌槽进行废液与水泥配料的搅拌混和，形成的浆液依靠位差自流入混凝土池内。当池子将充满时，浇注不含放射性的水泥砂浆于上面剩余空间，待浆液凝固后即完成了处置（见图）。为防止地表水入渗和风蚀的影响，设若干层不同材料的覆盖层。在浇注场周围沿着地下水流向应设置检测井，定期检查有无放射性核素释出。浆液的配制和混凝土池的设计应考虑浆液的流动性、水化热引起的温升和热应力，以保证处置的安全。

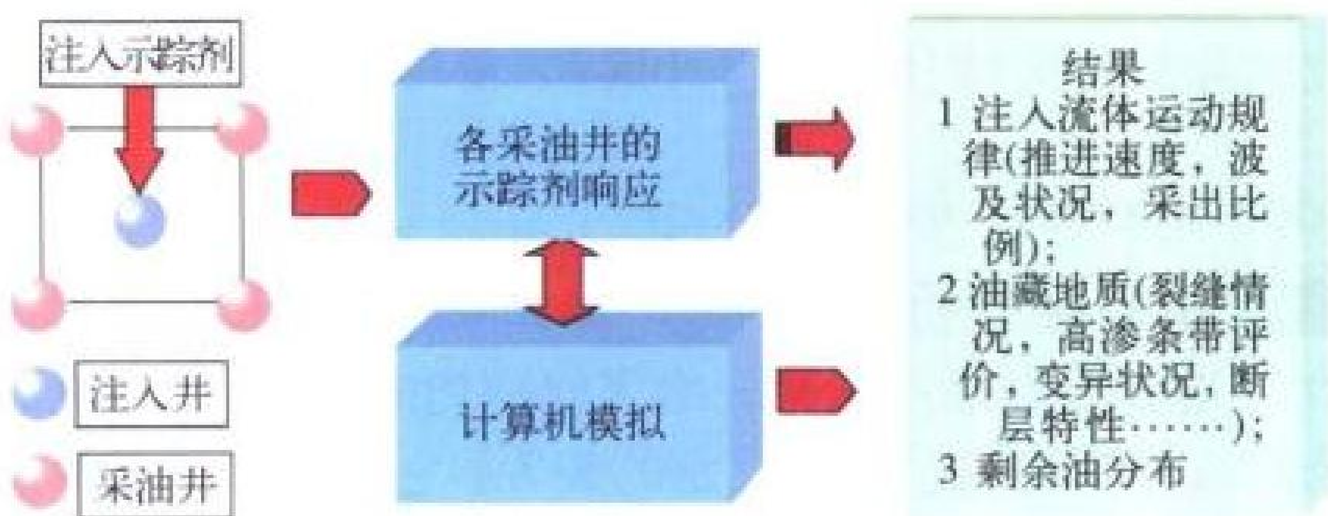


大体积水泥浇注处置示意图

（撰写：王显德　审订：孙东辉）

daxitong fangshexing shizong ceshi

大系统放射性示踪测试　large system radiotracer test　应用在大尺度和（或）复杂系统上的放射性示踪测试。这里，"大系统"通常是指那些有别于一般工业制造设备而处于野外或天然形成的庞大系统，如江、河、湖、海、油气田、大气、地下水资源、各种金属矿和煤矿等。测试内容一般包括：各种运移现象，流量测试，溯源，以及系统本身的总体评价。最常见的工作包括：油田示踪测井和井间示踪（见图），地下水资源评价，河床沙体运移研究，近海排污示踪评价，大气污染源的调查，各种矿藏的品位评价等。人工放射性示踪剂，天然放射性示踪剂和可活化示踪剂都可以用于大系统的示踪测试。大系统所使用的放射性示踪方法虽然与常规系统没有本质的差别，然而示踪数据与模拟技术相结合是不可缺少的，也是今后发展的主要方向。　（撰写：张培信　审订：吕延晓）



油田井间示踪原理示意图

dayawan hedianchang

大亚湾核电厂　Daya Bay Nuclear Power Station　中国第一座大型商业压水堆核电厂。该厂坐落在广东省深圳市以东的大亚湾畔的大鹏半岛上，距香港市中心 52 km，距深圳市中心 45 km。它是中国改革开放以来最大的中外合资项目，是从国外引进技术、设备，具有 20 世纪 80 年代后期国际水平。核电厂由广东核电投资有限公司与香港核电投资有限公司合资组建的广东核电合营有限公司负责建设和营运。按合营合同规定，在投产后的 20 年合营期内，70% 的电力输往香港，30% 的电力输往广东。

核电厂安装两座电功率 984 MW 压水堆核电机组。核岛设计和设备由法国法马通公司（Framatome）提供，常规岛设计和设备由英国通用电气公司（General Electric Co., GEC）提供，配套设施的设备从国内和国外一些国家采购，全厂设计和建设的总体技术责任由法国电力公司（Electricité de France, EDF）承担。

该项目于 1982 年年底获得批准，1983 年筹建，1984 年 4 月开始土石方工程，1986 年 4 月与各主要合同商签订意向书，同年 9 月签订正式合同，10 月合同生效。主体工程于 1987 年 8 月 7 日浇灌第一罐混凝土。经过土建施工、安装、调试，一号机组反应堆于 1993 年 5 月装入首炉核燃料，7 月达到临界，8 月并网，1994 年 2 月投入商业运行。二号机组比一号机组晚 3 个月于 1994 年 5 月投入商业运行。

自商业运行起至 2000 年年底，两台机组累计上网电量 84.00 TW·h。七年的运行业绩表明，电厂主要技术经济指标显著高于工程审查阶段的预期值。1986 年 7 月向国家报送的工程设计审查文件预计单台机组净输出电功率为 918.6 MW，而实际单台机组年度平均净输出电功率为 939.5 MW。该报审文件预估机组的负荷因子（load factor）只能维持在平均 60% 的水平，合营期 20 年总上网电量为 193.85 TW·h；而 2000 年负荷因子已达 85.05%，合营期 20 年总上网电量预期值可达到 272.51 TW·h，比原预估值高 40.60%。

（撰写：钱锦辉　审订：林贵清）

daibiaoxing yangpin

代表性样品　representative sample　从感兴趣物质中抽取的一份样品，它的品质和特性与该物质在被取样时的整体品质和特性相同，因此这类样品的品质和特性可以很好地代表感兴趣物质此时的整体品质和特性。从质量保证的角度来讲，保证取样的代表性是最基本的要求。

（撰写：夏益华　审订：胡遵素）

daidian lizi huohua fenxi

带电粒子活化分析　charged particle activation analysis　以带电粒子入射引起物质活化，并根据感应放射性核素的衰变特性（半衰期、特征 γ 射线能量和活度）实现物质分析的一类方法。回旋加速器是最常用的辐照设备，通常能提供能量为几兆电子伏到几十兆电子伏的 p，d，t，^{3}He 和 ^{4}He 等轰击离子。自 1938 年用氘束轰击样品实现首次带电粒子活化分析以来，它在技术上有了较大的发展，从 p，α，^{3}He 等轻带电粒子发展到重离子，以及从单一轻元素（如硼、碳、氮、氧等）的破坏性分析发展到多元素非破坏性分析。它不仅是样品表面层轻元素分析的重要工具，而且在许多重元素的测定上，质子（或 ^{3}He）活化分析已成为中子活化分析的重要补充。目前带电粒子活化分析已广泛应用于半导体材料硅、锗、镓、砷等和金属材料铁、钴、镍、铷、银、铟、钙、金等的痕量杂质元素分析以及血液、土壤、水、溶胶样品的多元素分析。

（撰写：张士琛　审订：吕延晓）

daidianlizi yu wuzhi de xianghu zuoyong

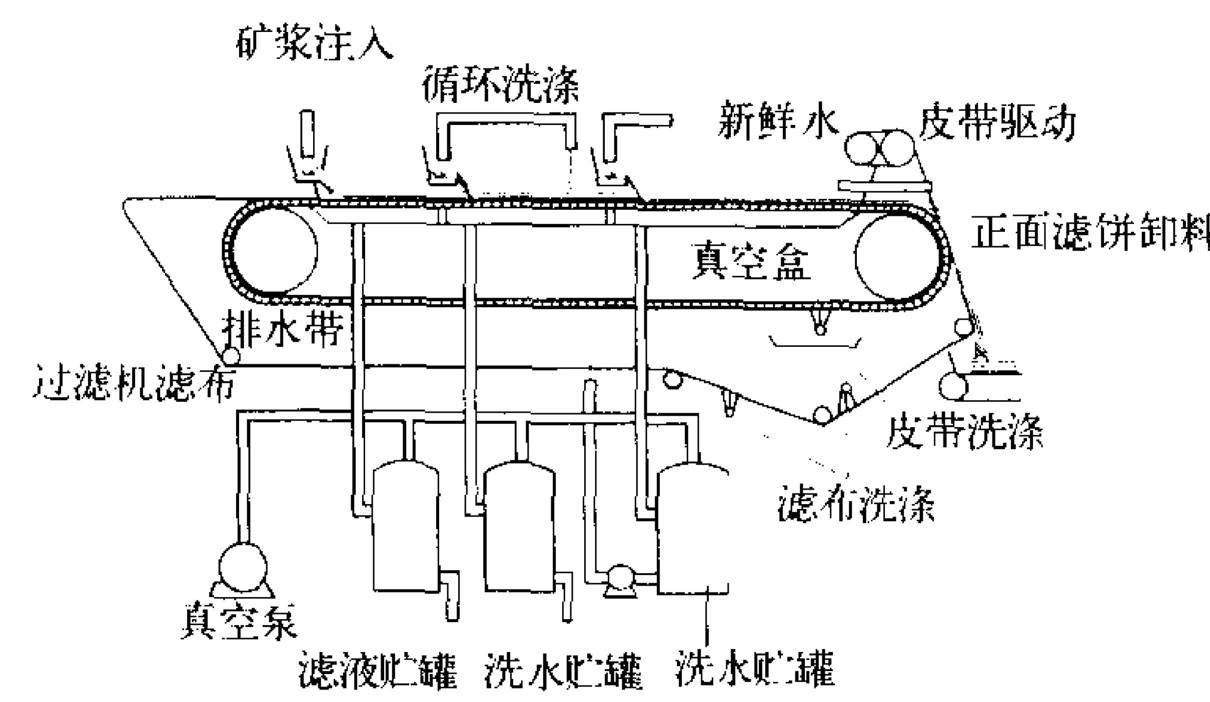
带电粒子与物质的相互作用　interaction of charged particles with matter　带电粒子，包括电子、轻带电粒子和重离子与物质的各种相互作用过程。能量较低时，电子和离子通

过电磁相互作用与物质中单个原子发生碰撞是基本过程。碰撞分弹性和非弹性两类。非弹性碰撞中有一部分总动能转化为原子或离子的激发能。被激发的原子或离子退激时发出可见光或X射线。当非弹性碰撞转移的能量超过原子或离子的某一电子的束缚能时发生电离，称为碰撞电离。电离产生的电子称为次级电子、其中能量较高、可穿透物质的又称为δ电子或δ射线。电离也可通过俄歇电子的发射实现。这时碰撞中转移的能量使内层电子跃迁至高激发态，这些电子不以发射X射线的方式退激，而是将激发能传递给束缚能较低的外层电子，使它获得的能量超过束缚能而发射出去。因此发射俄歇电子与发射X射线是互相竞争的高激发态退激过程。发射俄歇电子也使原子电离或使离子的电离度更高。

离子在与原子碰撞时可俘获电子或被剥离电子，使其电离态改变。具有足够能量的离子还可通过强相互作用与物质的原子核发生各种核反应，但其概率远小于与原子的作用过程。带电粒子由于上述的相互作用而在物质中产生原子的电离、位移和缺陷，造成辐射损伤，或使物质的性能发生改变。入射电子在原子核的电磁场中会引发轫致辐射。对于高能电子，由此发出的γ射线能量也高，会产生光子与电子的联合级联过程，形成电磁簇射。（撰写：施义晋　审订：丁大钊）

daishi guolüji

带式过滤机　belt filtrator　简称带滤机。利用悬浮液的重力和真空抽力实现固液分离、洗涤的一种高效固液分离设备（见图）。关键部分是一条排水带，带下装有真空盒，带子可在盒上滑动。真空盒被垂直隔板分开可实现逆流洗涤。滤布可进行单、双面洗涤。与转鼓或盘式过滤机相比，带式过滤机具有洗涤效果好、生产能力大、能有效地处理粗粒矿浆、操



水平带式过滤机示意图

作灵活等优点。主要缺点是占地面积大、投资高，对细粒物料适应性差。（撰写：关自斌　审订：王志章）

daiji dangliang jiliang

待积当量剂量　committed equivalent dose [$H_T(\tau)$]　定义如下

$$H_T(\tau)=\int_{t_0}^{t_0+\tau}\dot{H}_T(t)\mathrm{d}t$$

式中　t_0为摄入放射性物质的时刻；$\dot{H}_T(t)$为τ时刻器官或组织T的当量剂量率；τ为摄入放射性物质后过去的时间。未对τ加以规定时，对成年人τ取50年，对儿童的摄入要算至70岁。待积当量剂量单位为焦耳每千克（$\mathrm{J\cdot kg^{-1}}$），专用单位名称为希沃特（Sv）。进入体内的放射性核素对组织的照射在时间上是分散开的，能量沉积随放射性核素的衰变而逐渐给出。能量沉积在时间上的分布随放射性核素的物理化学形态及其后的生物动力学行为而变化。待积当量剂量是个人在单次摄入放射性物质之后，某一特定组织或器官中摄入的当量剂量率在时间τ内的积分。（撰写：董柳灿　审订：潘自强）

daiji xishou jiliang

待积吸收剂量　committed absorbed dose [$D(\tau)$]　定义如下

$$D(\tau)=\int_{t_0}^{t_0+\tau}\dot{D}(t)\mathrm{d}t$$

式中　t_0为摄入放射性物质的时刻；$\dot{D}(t)$为t时刻的吸收剂量率，τ为摄入放射性物质后过去的时间。未对τ加以规定时对成年人τ取50年对儿童的摄入要算至70岁。待积吸收剂量单位为焦耳每千克（$\mathrm{J\cdot kg^{-1}}$），专用单位名称为戈瑞（Gy）。进入体内的放射性核素对组织的照射在时间上是分散开的，能量沉积随放射性核素的衰变而逐渐给出。能量沉积在时间上的分布随放射性核素的物理化学形态及其后的生物动力学行为而变化。待积吸收剂量是个人在单次摄入放射性物质之后，某一特定组织或器官中摄入的吸收剂量率在时间τ内的积分。（撰写：董柳灿　审订：潘自强）

daiji youxiao jiliang

待积有效剂量　committed effective dose [$E(\tau)$]　定义如公式（1）

$$E(\tau)=\int_{t_0}^{t_0+\tau}\dot{E}(t)\mathrm{d}t \tag{1}$$

式中　t_0为摄入放射性物质的时刻；$\dot{E}(t)$为t时刻的有效剂量率，τ为摄入放射性物质后过去的时间。未对τ加以规定时，对成年人τ取50年，对儿童的摄入要算至70岁。如将单次摄入放射性物质后产生的待积器官或组织当量剂量$H_T(\tau)$乘以相应的权重因数W_T而后求和，就可得出待积有效剂量，可用下式（2）表示

$$E(\tau)=\sum_T W_T H_T(\tau) \tag{2}$$

为确定“其余组织或器官”包括哪几个组织或器官，在选择切合的组织或器官相加之前，应先对各个组织或器官计算出时间积分。待积有效剂量单位为焦耳每千克（$\mathrm{J\cdot kg^{-1}}$），专用单位名称为希沃特（Sv）。（撰写：董柳灿　审订：潘自强）

dandaomaichong fudu fenxiqi

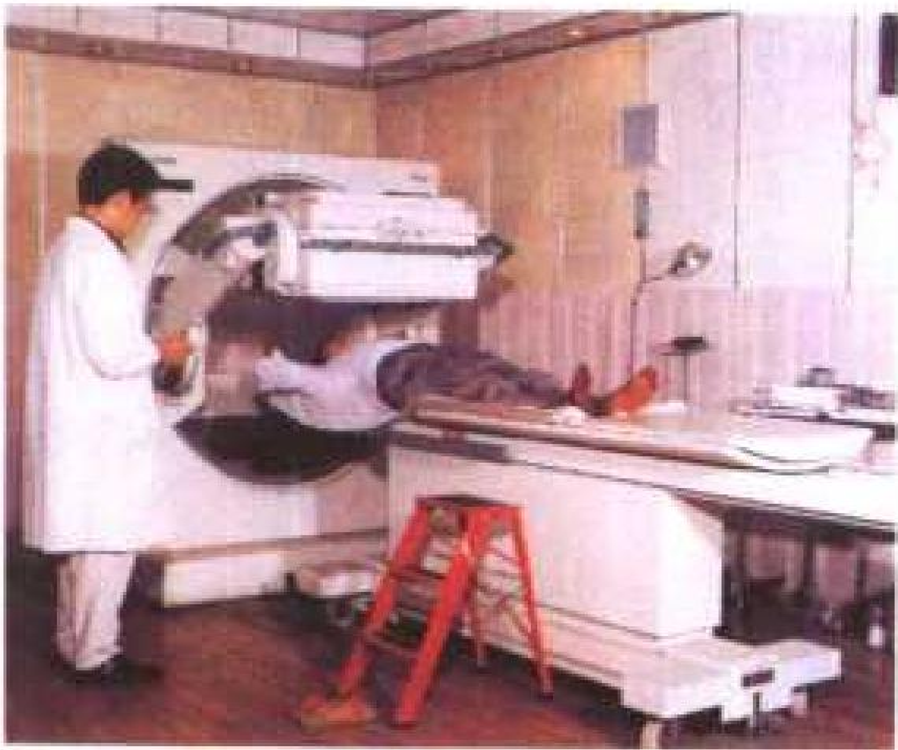
单道脉冲幅度分析器　single-channel pulse amplitude analyzer　用来选出幅度在某一给定间隔内的输入脉冲的仪器，也是对信号幅度信息进行甄别的装置。它由两个幅度甄别器和有关逻辑电路组成，两个甄别器分别具有上阈和下阈，上、下阈值的差确定了能够通过的幅度间隔，称为单道幅度分析器的道宽，只有幅度位于道宽内的输入脉冲才能使单道分析器产生输出逻辑脉冲。通常上、下阈值应可调，但往往做成下阈和道宽分别可调。单道脉冲幅度分析器的主要特性参数包括：阈和道宽的数值、线性以及稳定性；正常工作情况下输入信号和输出信号的参数；输入阻抗和输出阻抗等。

（撰写：倪建平　审订：席德明）

danguangzi fashexing jisuanji duanceng xianxiangyi

单光子发射型计算机断层显像仪　single photon emission computed tomography (SPECT)　将引入体内的放射性药物发射的γ射线由探头接收后，形成定位脉冲信号，经计算机图像重建获得药物活体分布各种断层影像的诊断装置（见图）。

SPECT有多种类型，最常用的为旋转型SPECT，其探头围绕身体旋转 360° 或 180° 进行全角或有限角度信息采集，投影量丰富，可得到脏器各个方向的断层影像。根据探头数目不同，SPECT常分为单探头、双探头和三探头系统。目前具有符合线路装置的可变角双探头 SPECT 通常称为分子符合探测或 SPECT/PET，可以部分实现正电子 PET 的功能。与 γ 照相机相比，SPECT 提高了探测灵敏度和空间分辨率，从而提高了图像质量，同时兼有动静态显像功能和断层显像功能，消除脏器前后组织的重叠干扰和检测出深部微小病变，并能够得到定量分析数据。


用单光子发射型计算机断层显像仪进行诊断

（撰写：王荣福　审订：吕延晓）

danlizi xiaoying

单粒子效应　single particle effect　又称单事件效应（single event effect）。高能带电粒子在器件的灵敏区内产生大量带电粒子的现象。它属于电离效应。当能量足够大的粒子射入集成电路时，由于电离效应（包括次级粒子的），产生数量极多的电离空穴—电子对，引起半导体器件的软错误，使逻辑器件和存储器产生单粒子翻转，CMOS 器件产生单粒子闭锁，甚至出现单粒子永久损伤的现象。集成度的提高、特征尺寸降低、临界电荷和有效 LED 阈值下降等会使抗单粒子扰动能力降低。器件的抗单粒子翻转能力明显与版图设计、工艺条件等因素有关。MOS 器件除 NMOS 器件外，一般比双极型器件有较好的抗单粒子翻转能力；双极型器件中，注入逻辑器件 I²L 的抗单粒子能力优于 TTL 器件。

（撰写：倪建平　审订：赖祖武　陈雨生）

danqun moxing

单群模型　one-group model　假定所有中子都具有相同的速度（或能量）从而使中子输运过程与能量无关的一种简化模型。实际上，只要能近似地确定中子的能谱就可以得到一个平均速度以及各种截面的平均值。用这些数据来描述中子的输运就避免了能量相关性。这种方法大大简化了数学分析，同时仍然近似地反映了反应堆的物理特性。分析单群模型所用的方法可直接推广应用于更复杂的模型。

（撰写：薛小刚　审订：史永谦　许汉铭）

danwei fenligong chengben

单位分离功成本　cost of unit separative work　工厂年度得到分离功的成本除以工厂的分离功率，是同位素分离工厂重要的经济指标之一，又称比成本。工厂得到分离功的成本主要包含两部分：(1) 工厂固定投资的年回收率，含工厂主设备、辅助设备和建筑物的年折旧回收率及利息；(2) 工厂运行费用，含能源消耗费用、工资和社会保险费用等。

（撰写：蒋同远　审订：刘广钧）

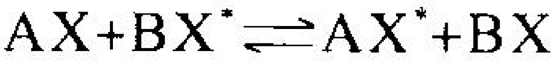
danwei fenligong nenghao

单位分离功能耗　energy consumption of unit separative work　又称比能耗。工厂年度的总能耗除以工厂的分离功率，是评定同位素分离工厂的重要经济指标之一。在同位素生产中，能耗是工厂生产成本中的重要部分，尤其是气体扩散法，因此除比成本外有必要单独列出。

（撰写：蒋同远　审订：刘广钧）

danwen huaxue jiaohuanfa

单温化学交换法　single temperature chemical exchange method　利用同位素化学交换分离同位素的方法。两种化合物中的同位素 X 和 X^* 相互交换位置，使某一同位素浓集在某一化合物中，另一同位素则浓集在另一化合物中，从而达到同位素的分离，其化学平衡如下



$$AX+BX^* \rightleftharpoons AX^*+BX$$

一级分离因子等于上述反应的化学平衡常数 K，即

$$\alpha=\frac{BX}{BX^*}\bigg/\frac{AX}{AX^*}=K$$

目前，同位素交换化学平衡常数已可从同位素分子振动光谱数据采用统计热力学方法进行计算。要实现化学交换分离同位素，被分离的含同位素的两种化合物必须分别在两个相中，如气相和液相、液相和液相，两个相还必须在交换塔内进行逆流接触，与精馏塔操作类似，还必须在塔的两端实现两种化合物相互间的定量转化和回流操作，如采用化学方法、热分解法或电解法进行回流。交换塔全塔（除两端实现回流外）均在一个温度下操作，称为单温化学交换法。已用于工业的单温化学交换法有 ^6Li–^7Li 的液液萃取分离和 ^{14}N–^{15}N 的气液分离。

（撰写：李以圭　审订：朱永赌）

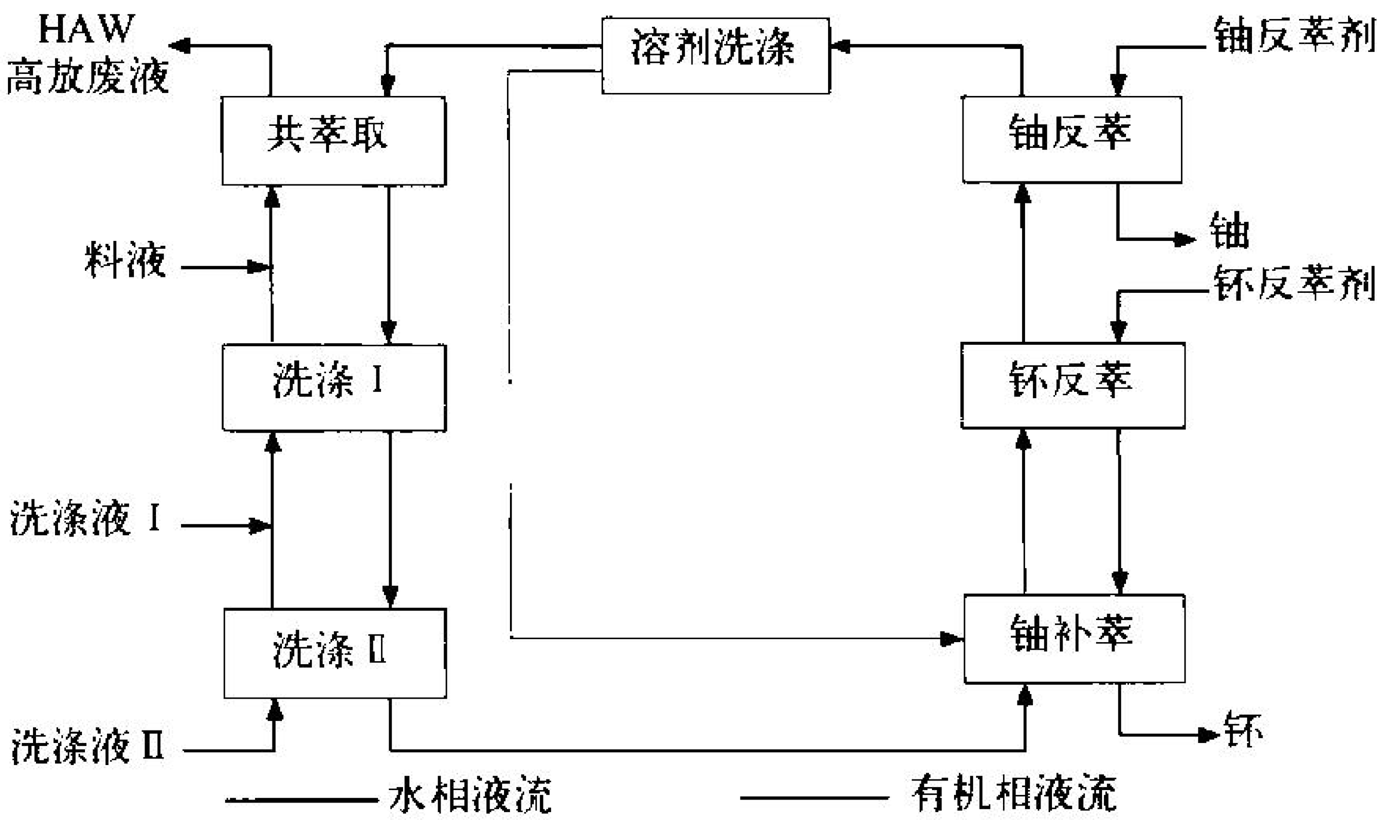
danxiangliu he liangxiangliu

单相流和两相流　single phase flow and two-phase flow　单个物相的流动叫单相流，如液体流和气体流等；同时存在两个物相并有明确相界面的流动叫两相流，如气（汽）—液两相流，固—液两相流，气—固两相流等。压水堆正常运行工况下，一回路冷却剂通常为单相水流动；在蒸汽发生器二次侧、沸水堆内以及压水堆某些事故工况下，存在汽—液两相流动。

（撰写：郝老迷　审订：陈玉宙）

danxunhuan liucheng

单循环流程　one cycle process　采用一个循环即能满足或基本满足铀、钚最终产品要求的改进的普雷克斯流程。德国曾提出一种单循环流程，称为 Impurex 流程。该流程的主要过程是用萃取剂（30%磷酸三丁酯—煤油）对水相料液进行共



单循环流程示意图

萃取，经过两次洗涤，得到含铀、钚的负载铀的有机相，通过钚反萃和钚浓缩以及沉淀，得到草酸钚产品。负载铀的有机相通过铀反萃和铀浓缩，得到硝酸铀酰产品（见图）。单循环流程是通过采用强化措施，改善裂变产物的去污而提出的一种优化的普雷克斯流程。计算和实验表明，通过过滤除去两相中非均相微粒，控制料液和洗涤液的酸度以及运行温度，控制负载铀的有机相，可以明显改善铀、钚的分离和对次锕系元素及裂变产物的去污。

（撰写：马栩泉　审订：林漳基）

D

danyi guzhang zhunze

单一故障准则　single failure criterion　任何设备组合在任何部位发生可信的单一随机故障时应当仍能执行其正常功能的要求。单一故障是指一个使某一部件不能执行其预定安全功能的随机故障及其所有继发性故障。有两类设备组合必须遵守单一故障准则：(1) 为抑制特定假设始发事件的后果，使之不超过设计限值的设备组合（或称安全组合）；(2) 设计规定要求遵守单一故障准则的安全系统。为检验是否符合单一故障准则，必须在各安全组合的每个单元上，依次假设发生一个单一故障，并逐一作出分析，如各安全组合均能完成应有的功能，则认为达到了单一故障准则的要求。在作单一故障分析时，不考虑发生一个以上的随机故障。在假设单一故障时，可在事故的整个过程中假设一个能动故障，或在事故的后期过程中假设一个非能动故障。如果某一非能动部件的设计、制造、检查和在役检查均能保证很高的质量水平，则可不必假设它会发生故障。下列情况之一可容许不遵守单一故障准则：(1) 极为罕见的假设始发事件；(2) 假设始发事件极不可能的后果；(3) 在为维护、检修或定期试验的需要让设备停止使用的规定时间内。　（撰写：俞尔俊　审订：陈叔平）

danzudiandui dongtaixue

单组点堆动态学　one group point reactor kinetics　将多组缓发中子等效为一个平均组的点堆动态学模型。核裂变时的缓发中子通常分为6组，考虑6组缓发中子所得到的点堆动态方程以及中子密度时间响应的瞬态过程是比较复杂的，有时用一个平均缓发中子组来近似，可使问题得到简化。

（撰写：薛小刚　审订：史永谦　许汉铭）

dandaodaodan yujing xitong

弹道导弹预警系统　ballistic missile early warning system　用于尽早发现并跟踪测量来袭导弹弹道参数，确定来袭导弹发射阵位及其攻击目标，为国家战略防御决策提供预警信息的系统。它是反弹道导弹防御系统和战略导弹部队指挥自动化系统的重要组成部分，通常由预警卫星系统和地面预警雷达系统组成。对弹道导弹预警系统一般要求为预警时间长、发现概率高、虚警率低、截获目标容量大等，并能以一定精度测量来袭导弹的弹道参数。（撰写：段占元　审订：唐西生）

danhuayou

氮化铀　uranium nitride　铀与氮组成的二元化合物。U-N系中有UN，UN_2和U_2N_3三种化合物。其中只有UN在熔点3120 K以下是稳定的。UN属NaCl型面心立方结构，理论密度为14.32 g/cm³。与UO_2相比，UN的含铀密度高（13.48 g/cm³）；在1600 K时，其热导率为25.0 W/(m · K) 约为UO_2的9倍。UN的物理性质和辐照性能与UC的相近，惟肿胀率略高。与不锈钢包壳的相容性好，但其化学稳定性差。UN粉末的制备方法如下：先将铀屑在523 K氢气中生成UH_3；再在623 K氩中脱氢制成高纯铀粉；然后在纯氮流中加热到1173 K生成U_2N_3；最后在1673 K氩中分解成UN。氮化物烧结需在1973 K高压氩气中进行。全部操作应有惰性气氛保护。　（撰写：李文埮　审订：张忠岳）

dangliang jiliang

当量剂量　equivalent dose (H_T)　辐射R在器官或组织T中产生的当量剂量H_T是器官或组织T中的平均吸收剂量$D_{T,R}$与辐射权重因数W_R的乘积，即

$$H_T = W_R D_{T,R} \tag{1}$$

当量剂量H_T的单位为焦耳每千克（J·kg⁻¹），其专用单位名称为希沃特（Sv）。当量剂量对时间的导数是当量剂量率$\dot{H}_{T,R}$。当辐射场由具有不同W_R值的不同类型和（或）不同能量的辐射构成时，为确定总的当量剂量，必须把吸收剂量细分为一些组，每组的吸收剂量乘以各自的W_R值，而后求和，即

$$H_T = \sum_R W_R D_{T,R} \tag{2}$$

式中　$D_{T,R}$为辐射R在器官或组织T中产生的平均吸收剂量。

（撰写：董柳灿　审订：潘自强）

dangliang jiliang fudan

当量剂量负担　equivalent dose commitment (H_c)　对指定的群体来说，由于某一涉及照射危险的特定的事件、决策或实践所产生的在时间上持续进行的照射，平均每人的某一器官或组织所受的剂量率（$\dot{\bar{H}}_T$）在无限长时间内的积分，即

$$H_c = \int_0^\infty \dot{\bar{H}}_T(t)\mathrm{d}t$$

式中　H_c单位为焦耳每千克（J·kg⁻¹），专用单位名称为希沃特（Sv）。　（撰写：董柳灿　审订：潘自强）

dao

氘　deuterium(diplogen)　又称重氢。氢的一种稳定同位素。符号D或²H。氘的质量数为2，相对原子质量为2.0144，其原子核由1个质子和1个中子组成。在天然水中它以半重水（HDO）形式存在，丰度约为0.015%。重水（D_2O）是氘的重要化合物。氘的沸点为 −249.41℃，熔点为 −254.35℃。在常温下，氘是无色无臭的气体。液、固态氘的蒸汽压以及气态氘在固体物质中的溶解度和扩散速率都比氕低。氘的化学性质与氕相似，但不如氕活泼。氘可通过双温交换法、水电解法和液氢精馏法从天然水中制取。氘的用途是以重水形式作反应堆的慢化剂和以氘化锂等形式作氢弹的装料。氘或氘—氚可用作聚变堆的燃料。此外，人工加速的氘核作为轰击粒子在许多核反应中得到应用。

（撰写：卢浩琳　审订：韩延德）

daochuanhuali

氘氚化锂　lithium deuteriotritide　分子式为Li(D,T)，由LiD和LiT所组成。它可有不同的氘氚比。氘氚化锂晶体呈蓝黑色。其物理和化学性质可参见氢化锂和氘化锂。

（撰写：何可学　审订：卢浩琳）

daohuali

氘化锂 lithium deuteride 分子式为LiD，分子量为8.955，它具有面心立方晶格结构，晶格常数 $a = 0.40684$ nm，密度为0.8826 g/cm³(室温)，生成热 (ΔH_{298}) 91.144J/mol。LiD的物理和化学性质，参见氢化锂。

(撰写：何可学 审订：卢浩琳)

daochu xianzhi

导出限值 derived limit 为辐射防护实际工作需要,根据适用于特定情况的一定模式,由基本限值推导出的限值。在辐射防护监测中，许多测量结果不易用剂量形式直接表示，但对于辐射监测中的任一个量，如剂量当量率、表面污染水平等可以按特定模式根据基本限值推导出实用的限值。这些模式与工作特性、环境条件、生活习惯和代谢规律等密切相关。导出限值常常基于偏安全的假定计算得出。因此，只要监测结果不超过这一数值，几乎可以肯定辐射防护基本限值没有超过。但结果超过导出限值却不一定意味着也超过了基本限值，只是提示需要进一步的仔细调查。典型的导出限值，如导出空气浓度(DAC)就是年摄入量限值(ALI)除以参考人在一年的工作时间内吸入的空气体积所得的商，单位是 Bq/m³。

(撰写：杨华庭 审订：张廷生)

daodan hewuqi baozha shiyan

导弹核武器爆炸试验 nuclear test of nuclear warhead-carrying missile 用真实弹道导弹将核弹头送到预定地点进行核爆炸的试验。1966年10月我国曾在本土上进行过导弹核武器爆炸试验，导弹从甘肃酒泉发射，核弹头在新疆核试验场弹着区上空爆炸。这次试验的目的是鉴定核战斗部在飞行环境下的工作状态、检验其性能。

(撰写：宗军柏 审订：吕 敏)

daodan hewuqi de jiebeilü

导弹核武器的戒备率 alerting rate of nuclear missiles 处于戒备状态并能在规定发射准备时间内实施作战发射的导弹数占部署导弹总数的百分比。它主要取决于导弹的类型、战术技术性能和戒备状态等因素，戒备率越高，导弹核武器的作战使用性能就越好。一般而言，固体导弹的反应时间短，戒备率高；液体导弹的反应时间长，戒备率低。对于陆基导弹核武器来说，戒备率就是处于发射准备状态的导弹数占导弹总装备数的百分比；对导弹核潜艇来说，戒备率是指在海上执行作战巡逻任务的核潜艇数量占核潜艇总数的百分比；对战略轰炸机来说，戒备率是指担任战略值班任务的战略轰炸机数占战略轰炸机总数的百分比。

(撰写：段占元 修订：叶名兰 审订：唐西生)

daodan hewuqi de tufang zhuangzhi

导弹核武器的突防装置 penetration aids of nuclear missiles 为突破对方导弹防御系统，在导弹或弹头上采取的对抗装置，如在弹头内装的干扰机、干扰条、各种诱饵和采取的加固措施等。干扰机利用光电干扰技术特别是电子干扰技术，通过发射信号来干扰对方的红外识别设备或预警雷达，使之失去目标或饱和其探测能力。干扰条的作用也是为了扰乱雷达，使雷达分辨不出真假弹头。诱饵是与弹头有相似的雷达和红外辐射特性的专用装置(即假弹头)。在弹头飞行至某一弹道高度时，通过释放诱饵可以形成一威胁管道，使对方的红外识别设备或雷达难以跟踪和识别真弹头。加固措施是在弹头结构、电子线路、电子器件上采取措施，增加弹头的抗力，在一定的距离范围内可避免核爆炸对弹头的破坏，以提高弹头的生存能力和突防能力。随着导弹防御系统的发展，为了推迟核弹头被敌方发现，使敌方不能进行及时拦截，或即使被发现，也不会被有效拦截，许多核弹头都装载了若干突防装置来提高其突防概率。随着导弹防御技术的发展，导弹核武器的突防装置也会不断改进，如为对付激光反导武器，抗激光技术也将成为新的突防措施。

(撰写：段占元 修订：叶名兰 审订：唐西生)

daodan hewuqi shecheng

导弹核武器射程 range of nuclear missiles 导弹核武器从发射点到弹着点或爆心投影点间的大地距离。每种导弹核武器都有一个最大射程和一个最小射程，最大射程是导弹在规定环境条件下发射时，能射击的最大距离。它是导弹核武器的重要战术技术性能指标，也是导弹运载能力设计的重要依据；最小射程是导弹在规定的条件下发射时的最小射击距离，它的确定要考虑该型导弹核武器与其他型号导弹核武器射程的衔接，以便实现合理的火力配置。最大射程和最小射程构成了导弹核武器的有效射程范围，有效射程范围越大，火力机动范围就越大，在一个发射点可以攻击的目标就越多。通常影响导弹核武器射程的主要因素有动力系统性能、核弹头质量、弹体和弹载仪器仪表质量、以及飞行弹道的选择等。在导弹起飞重量一定的前提下，减轻弹头重量、采用高强度轻质结构材料、提高火箭发动机的效率、采用高能火箭推进剂以及选择优化弹道，都是增加导弹核武器射程的有效途径。

(撰写：段占元 审订：唐西生)

daodan hewuqi touzhi zhiliang

导弹核武器投掷质量 throw weight of nuclear missiles 核战斗部、突防装置、释放机构、末助推装置和末制导系统等有效载荷的质量，它是衡量导弹运载能力的重要指标。导弹投掷质量与导弹起飞质量之比称为比投掷质量，它表示单位起飞质量所能运载的投掷质量，也是衡量导弹核武器运载水平和导弹总体结构技术水平的重要标志。比投掷质量越大，导弹运载水平越高，从而使导弹得以向小型、机动和洲际方向发展。 (撰写：段占元 审订：唐西生)

daodan hewuqi kekaoxing

导弹核武器可靠性 reliability of nuclear missiles 在规定的使用条件下，导弹核武器实施正常发射、按预定轨道飞行、完成规定动作以及最终核战斗部正常起爆的可靠程度。它是鉴定导弹核武器质量和突击能力的一项重要指标。导弹核武器结构复杂、部件多，而且还需要在极其严酷的环境下(例如发射、头体分离和再入大气层时所处的恶劣环境等)工作，其中任何一个部、组件的不正常都会导致整个导弹核武器的失效。因此导弹核武器的可靠性是衡量其综合性能的一项重要指标，其特征量一般用可发射率和发射成功率来表达。前者是指导弹核武器在临发射前能适时发射的概率，后者是指导弹核武器在发射后按规定要求实现核爆炸的概率。一枚贮存状态下的核武器，在不考虑生存概率和突防概率情况下，其可靠性的特征量可以用可发射率和发射成功率的乘积来表示。显然这个特征量越高，导弹核武器的作战效果越好。

(撰写：段占元 审订：唐西生)

daodan hewuqi zhanbei fanying shijian

导弹核武器战备反应时间 response time of nuclear missiles 处于戒备状态的核导弹从接到发射命令到导弹起飞所需的时间。实际上，为了增加核武器的贮存寿命和提高其安全性，核武器除部分处于“戒备状态”以外，相当一部分按贮存状态存放。因此，一旦接到准备使用的命令，核武器就要由贮存状态按规定的操作程序进行检测和装配以过渡到待发射状态。因此，核武器战备反应时间有时也指核武器从贮存状态到待发射、投掷状态所需的时间，它对核武器能否及时地发射、投掷出去而不致贻误战机关系极大。因此核武器的战备反应时间应尽量缩短。

战备反应时间越短，越有利于实施突然袭击、多发射击和减少被对方袭击的可能性，有利于提高生存能力。通常战备反应时间主要取决于导弹类型、性能和检查、测试的自动化程度以及发射方式等方面，一般来说固体导弹优于液体导弹，陆基导弹优于潜射导弹，固定发射优于机动发射。

（撰写：段占元　审订：唐西生）

daoliu xishu

导流系数 perveance 在带有电子枪的电子器件中，电子枪的阴极发射电流 I 与阴阳极间电压 V 的 3/2 次方的比值。单位为朴 $(A/V^{3/2})$ 和微朴 $(\mu A/V^{3/2})$，表达式为

$$D = I/V^{3/2}$$

高功率速调管的导流系数在 2 微朴左右。导流系数是电子器件电子枪发射能力的标志。在离子光学系统中，导流系数的定义有同样的表达式。其中，I 是离子流强度，V 是离子束的规一化电位，此时导流系数用于描述离子束空间电荷的大小。导流系数大，空间电荷效应也大。

（撰写：罗应雄　审订：王传英）

daoxiangguan wanqu

导向管弯曲 guide tube bowing 燃料组件导向管在达到较高燃耗时发生的弯曲（挠曲）现象。导向管“弯曲”是一种概括的说法，实际运行中发生的导向管挠曲形状可呈 C 形，S 形，甚至 W 形。导致导向管弯曲的主要原因是：导向管所受压紧弹簧的轴向压力太大（使导向管无法在辐照生长情况下自由伸长）；导向管本身刚度不足。导向管挠曲多见于铀燃耗高于 30000 MWd/t 的情况。燃耗低、辐照生长小，通常不会引起导向管挠曲。局部功率分布畸变严重，使构成燃料组件骨架（参见燃料组件骨架）的各导向管辐照生长不均匀，也容易因燃料组件骨架变形而导致导向管弯曲。通过减小轴向压力、增大导向管刚度及减小其辐照生长等措施解决这个问题（参见高性能燃料组件）。

（撰写：张忠岳　审订：黄玉才）

daoshi fangcheng

倒时方程 inhour equation 反应堆动态学中表示反应堆渐近周期（或稳定周期）T 与反应性 ρ 之间关系的方程。有时也称为反应性方程。给定反应性 ρ 就可确定反应堆周期。它是反应堆物理实验中由测量反应堆周期来确定反应性的理论根据。“倒时”是反应堆工程中早期采用的反应性单位，1“倒时”的反应性将使反应堆功率以 1 h 的稳定周期增长。“倒时”是一个很小的反应性单位，它只用于反应性的微小变化。由于现代反应堆可能引入较大的反应性变化量，因而，目前反应性的单位常采用百分数或者采用元（$）作单位。虽然倒时单位已很少使用，但反应性方程仍然常称为倒时方程。

（撰写：薛小刚　审订：史永谦　许汉铭）

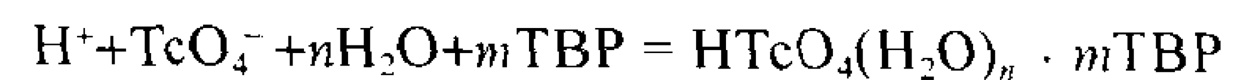
de

锝 technetium 一种人工放射性元素，化学符号 Tc，原子序数 43，属周期系Ⅶ B 族。半衰期最长的同位素是 ^{98}Tc(4.2×10^6 a)。锝是第一个人工合成的元素，根据希腊文 technetes（人造的）命名。1937 年意大利 C.佩里尔和美国 E.G.塞格雷用氘轰击钼，首次制得 43 号元素，随后从铀的裂变产物中分离出和利用钼、钌、铌的核反应制得锝的许多同位素。在自然界中仅发现极少量 ^{99}Tc。从反应堆产生的裂变产物中可以分离得到大量锝，每兆瓦堆功率每天产生约 20 mg ^{99}Tc。锝原子的电子构型是 (Kr) $4d^5 5s^2$，具有 +1～+7 的氧化态，其中 +4，+7 氧化态较稳定。最重要的同位素是 ^{99}Tc 及其同质异能素 $^{99}Tc^m$ (6.0h)。$^{99}Tc^m$ 是核医学临床诊断中应用最广的医用核素。

（撰写：刘伯里　金昱泰　修订：罗文宗　审订：崔安智）

de de xingwei

锝的行为 behaviour of technetium 乏燃料后处理工艺中裂变产物元素锝之化学行为。锝具有 +1～+7 的氧化态，以 +4 和 +7 较稳定。在乏燃料水法后处理工艺流程的溶解液中，锝以 +7 (TcO_4^-) 存在。纯锝在硝酸溶液中被磷酸三丁酯（TBP）萃取的分配比是很低的，其萃取反应式为



$$H^+ + TcO_4^- + nH_2O + mTBP = HTcO_4(H_2O)_n \cdot mTBP$$

当硝酸溶液中存在某些金属离子时，TcO_4^- 会有不同程度的共萃取，使锝的萃取分配比明显增加，其共萃取机理可用下式描述



$$M(NO_3)_x + TcO_4^- + yTBP = M(TcO_4)(NO_3)_{x-1} \cdot yTBP + NO_3^-$$

式中 M 为金属离子 $(UO_2^{2+}$，Pu^{4+}，$Zr^{4+})$，TcO_4^- 作为金属离子的一个配体被 TBP 共萃取。由于 Zr^{4+} 配合物的萃取分配比较低，可用硝酸洗涤除去。这时有机相中的 UO_2^{2+} 或 Pu^{4+} 萃合物会与水相中的 TcO_4^- 进行配体交换，又使 TcO_4^- 回到有机相，这种异相交换配体反应，使萃取到有机相中的锝不易被硝酸洗涤去除。

在用 U(IV) 还原反萃取有机相中的钚时，锝会催化硝酸根对肼的氧化，作为 U(IV) 稳定剂的肼被破坏，使 U(IV) 不稳定，耗量大大增加。（撰写：林灿生　审订：朱永濬）

dE/dx bandaoti tanceqi

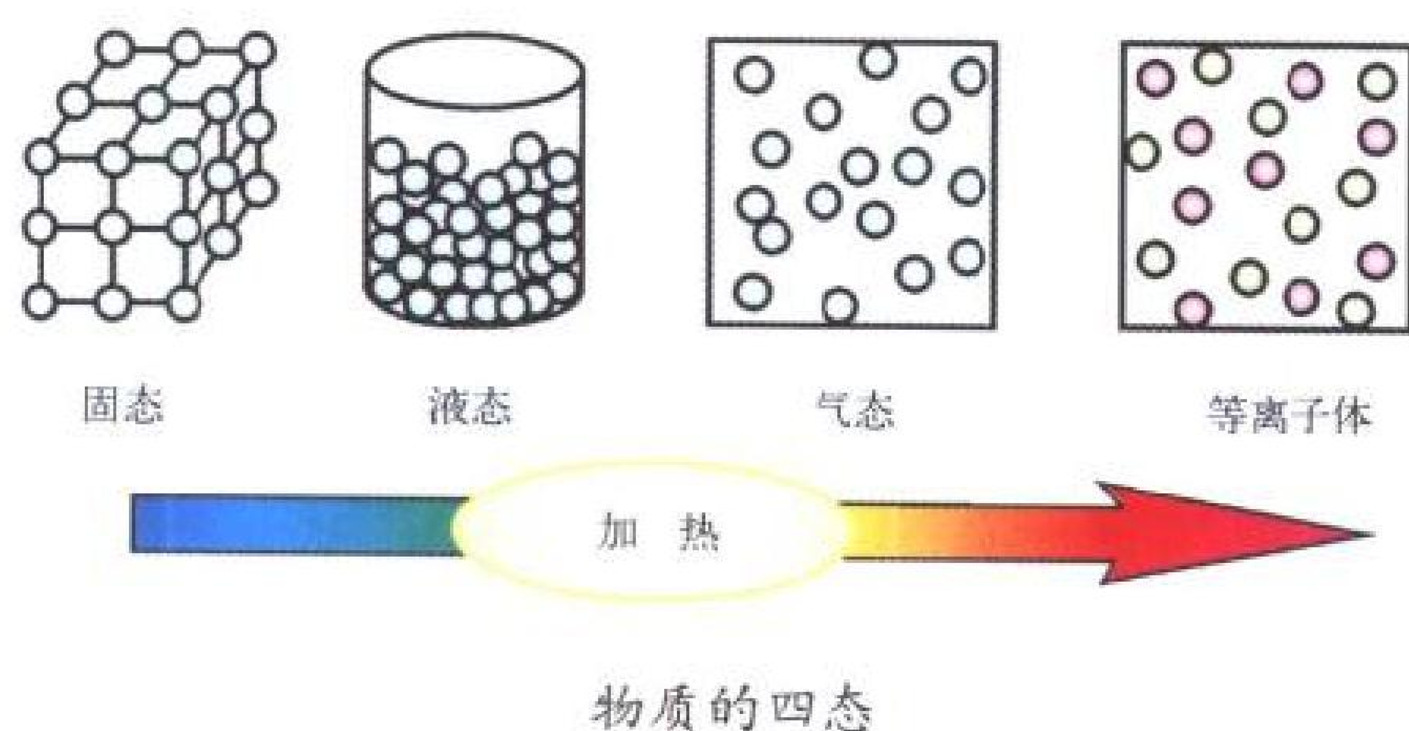
d*E*/d*x* 半导体探测器 d*E*/d*x* semiconductor detector 又称全耗尽探测器，是一种特殊的 P–N 结面垒探测器，其耗尽层厚度比入射粒子在硅材料中的射程要小得多，并要求 P^+ 和 N^+ 层尽可能薄。为使硅单晶片不存在未耗尽层，要选用具有较高电阻率的硅单晶和适当高的工作电压，使全耗尽层厚度上有适当强的电场。蒸金和铝层，在不影响探测器性能条件下要控制得尽可能的薄。耗尽层厚度的均匀性要求在 ±0.5 μm 以内。它主要用来鉴别粒子的种类，与 E 探测器一起构成望远镜结构。粒子穿过 d*E*/d*x* 时损失的能量 ΔE 与粒子入射时的能量和粒子的种类有关。另外它的结电容是常数，输出脉冲上升时间一般为十几纳秒，因此它可用于飞行时间法或其他快时间辐射探测的实验中。（撰写：丁洪林　审订：李广将）

δ dianzi

δ 电子 δ electron 见带电粒子与物质的相互作用。

dengliziti

等离子体 plasma 由电子、离子和未电离的中性粒子组成的物质状态。它是固态、液态、气态之外的物质第四态（见图）。通常固态物质在加热中变为液态，然后转变为气态，温度极高时被部分电离形成等离子体。通常在所考察的等离子体尺度内集体效应起重要作用。除了气体等离子体外，还有液态等离子体和固态等离子体。在电解液中含有大量自由运动的电子和离子。金属中的传导电子、半导体的空穴和电子都可以自由运动，整体上也是电中性的。在半导体中已发现了多种类似等离子体不稳定性的行为。



物质的四态

（撰写：钱尚介　审订：黄　林）

dengliziti dianliumidu poumian fenbu zhenduan

等离子体电流密度剖面分布诊断 diagnostic of plasma current density profile 通过各种诊断技术获得等离子体的极向场分布或安全因子 q 分布，再利用安培定律得到等离子体电流密度径向分布的方法。主要分为：(1) 被动的间接测量方法。它利用常规诊断得到的等离子体参数，援引与电流分布相关的关系式，推算出等离子体的电流密度分布。(2) 主动测量方法。将粒子束或激光束注入等离子体，观测注入粒子在磁场中的辐射特性或激光偏振方向在磁场中的旋转得到极向场的信息。(3) 利用由其他技术延伸的副效应作诊断，如通过入射冰弹丸消融云的结构以及利用波加热激发的阿尔芬波谱的特性推断安全因子 q 的分布。

（撰写：周　艳　审订：钱尚介）

dengliziti dianzhongxing yu debaipingbi

等离子体电中性与德拜屏蔽 plasma neutrality and Debye shield 没有外部扰动时等离子体中空间电荷相互抵消，是宏观电中性的，称等离子体电中性。偏离电中性会产生很强的电场，使电荷偏离极快得到纠正，故电场作用于一定距离内，此距离外电场被屏蔽，称为德拜屏蔽。通常等离子体略带正电位。

带电粒子的静电场总是被等离子体中的异号电荷粒子屏蔽，其作用范围限于屏蔽距离内，这个距离为德拜屏蔽长度 λ_D(m)，它也是可以存在局域性电荷分离的空间尺度。λ_D 是等离子体是否受集体效应支配的一个判据。德拜长度远大于粒子平均间距，即德拜球内的粒子数 N_D 远大于 1，才表现出等离子体特有的集体效应。$N_D=\dfrac{4}{3}\pi\lambda_D^3 n$，$n$ 为粒子密度 ($\mathrm{m^{-3}}$)。通常等离子体都满足这个条件。德拜屏蔽长度 $\lambda_D=7430[T_e/n]^{1/2}$，式中 T_e 为等离子体温度，单位为 eV。λ_D 对磁约束核聚变等离子体而言，为 10^{-2}cm 量级，是很小的量。

（撰写：钱尚介　审订：黄　林）

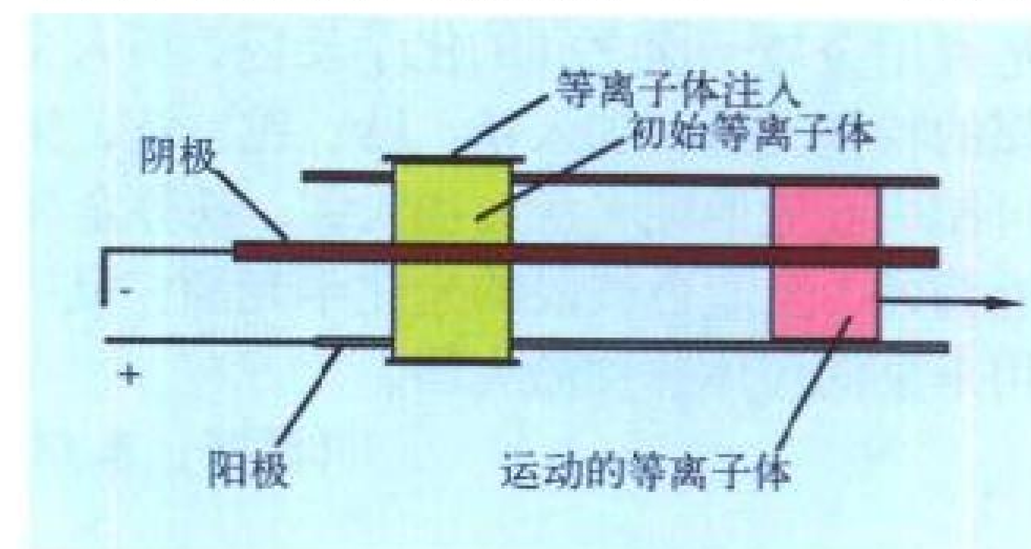
dengliziti fushe

等离子体辐射 plasma radiation 等离子体产生的电磁辐射。等离子体辐射的频谱很宽，从微波、远红外、可见光、真空紫外光到 X 射线。辐射来源可分为两类。第一类为自生辐射，包括加速粒子引起的辐射，如轫致辐射和回旋辐射，受激原子、离子的跃迁引起的辐射以及复合辐射等。第二类辐射来自等离子体集体运动，使等离子体波增涨导致辐射大为增强。轫致辐射是普遍存在的，在受控核聚变中，轫致辐射是最终实现核聚变的最低的也是最基本的限制。$Z_{\rm eff}=1/n_e\sum Z_i n_i^2$ 为有效电荷数，即等离子体的所有杂质等效为电荷数为 $Z_{\rm eff}$ 的杂质，式中 n_i 为电荷数 Z_i 的粒子密度。通常用没有线辐射的波长区内的轫致辐射的绝对测量确定，由于技术原因，这种测量不易准确，特别是在 $Z_{\rm eff}$ 靠近 1 时。

（撰写：钱尚介　审订：黄　林）

dengliziti gaogonglü gaosu duanlu kaiguan

等离子体高功率高速断路开关 high power high speed plasma switch 用于电脉冲宽度压缩以获得约 10 ns 高达 GW 的电脉冲的开关。高压电容器组或 Marx 发生器的储能电容向同轴线放电，转换为同轴线储能。同轴线的始端由一组等离子体源同步注入等离子体形成电流通道。在 $J\times B$ 电动力推动下，等离子体以 10^3 cm/ms 的速度向开路终端运动（见图），到达终端时电路开断，因同轴线的电感性出口电压突然上升，电压可升高 2～3 倍，功率可达到 3 GW。等离子体源可用等离子体枪或闪光板。内导体表面电流密度高达 10 kA·cm^{-2}，功率密度高达 5 GW·cm^{-2}，因而通常石墨制的电极在放电中受烧蚀而成为等离子体构成的重要成分。



等离子体高功率高速断路开关示意图

（撰写：钱尚介　审订：李启瑞）

dengliziti gongye yingyong

等离子体工业应用 plasma industrial application 以等离子体技术为基础的工业应用。等离子体应用可分为两类：(1) 利用等离子体技术产生电子束、离子束、光辐射及高热等的技术；(2) 直接利用等离子体。等离子体具有极高的温度和能量密度，能产生活性成分，包括可见和不可见的光子、电子、离子、自由基和高反应性的中性分子和团簇、受激原子、活性单体等，因而可更有效、更便宜地达到预期目的，甚至达到原先不可能的要求而几乎不产生污染和有毒废物。迄今最有成效的应用领域有：微电子学中的干法刻蚀与沉积，等离子体光源和等离子体显示器，电子、离子和等离子体源，材料表面处理，等离子体空间推进器，等离子体废物处理，等离子体化工，等离子体冶金，等离子体电路断路器，电离层等离子体短波通信，静电除尘与静电喷漆等。

（撰写：钱尚介　审订：李启瑞）

dengliziti guangpu zhenduan

等离子体光谱诊断 plasma spectrum diagnoses 利用各种光谱测试仪器或光谱探测器件对高温等离子体中各种杂质原子或离子从真空紫外到可见光波段范围内的辐射光谱进行探

测和分析的诊断手段。在高温等离子体中，杂质原子均处于高电离和高激发状态，电子与离子碰撞时将产生连续光谱辐射，当处于激发态的电子跃迁到较低能态时，将产生线光谱辐射，光谱线还会受到发射体本身运动状态的影响而展宽或频移。该诊断手段对各种杂质原子的光辐射强度、杂质成分、杂质浓度以及在不同放电条件下的杂质特性和动态变化规律的研究是十分重要的。 （撰写：董贯福 审订：钱尚介）

dengliziti guangyuan

等离子体光源 plasma light sources 又称气体放电灯。在气体放电形成的等离子体中，利用激发粒子的自发跃迁、异种带电粒子的复合和带电粒子在电场中的减速使等离子体发光形成的光源。等离子体光源的辐射波长完全取决于气体组分和放电状态。它是选择性辐射体，可以得到不同波段的光源，一般寿命很长。

氘灯是一种高光效、高亮度的紫外连续光谱源，常用作紫外光谱标准灯。高压钠蒸气放电在可见光区有展宽了的钠原子光谱线。低压汞灯在紫外区有极强的汞原子光谱线，可用于紫外杀菌；管壁涂以荧光粉，可转变为可见光，就是日光灯。高压汞灯是利用汞原子在高能级之间的跃迁产生近紫外和蓝绿色的可见辐射，用于照明或光化学。金属卤化物灯是利用金属—卤之间的化学反应，引入金属蒸气，发出该金属的特征光谱：加入镝、钛、铊、钪、钠、铟等金属卤化物可制成高效照明光源，加入镓、铁等金属卤化物可得高效率近紫外、及蓝色波段的光化学光源。氙气中的脉冲放电，可用来泵浦固体脉冲激光器。

（撰写：朱绍龙 审订：钱尚介）

dengliziti huaxue

等离子体化学 plasma chemistry 研究由等离子体诱发的，或在等离子体环境下发生的化学过程的学科。通过放电，等离子体中会产生各种化学活性很强的粒子，从而引发在一般条件下不易发生的化学反应。利用这些化学过程可以对物质进行处理和合成新材料。本学科在20世纪70年代初诞生后，发展极快。它是涉及物理、化学、数学、材料科学、计算机科学、环境科学、生物与医药科学等多种领域的一门交叉学科。等离子体化学的最有代表性的应用是半导体工业的等离子体刻蚀。 （撰写：蒲以康 审订：钱尚介）

dengliziti jiguang zhenduan

等离子体激光诊断 plasma diagnostics with laser 利用激光的高、定向亮度、单色性、偏振性及相干特性，对多种等离子体参数的主动测量的方法。通常它对等离子体不产生可觉察的干扰，具有十分高的空间和时间分辨能力，比普通诊断更精确、更直接。激光可以实现不同的诊断目的：(1) 由汤姆逊散射频谱的测量和分析非相干散射可以测量等离子体电子温度、电子密度、磁场、有效电荷数等参数，利用红外或远红外波段激光的相干散射可以测量离子温度、等离子体超热密度涨落及不稳定性等；(2) 激光束穿过等离子体时产生相移，通过双光束或差拍干涉等方法并利用不同频段的激光辐射可实现不同范围电子密度的测量；(3) 用激光偏振束的法拉第旋转测量磁场；(4) 用激光全息可获得三维密度分布信息；(5) 用可调谐激光器的共振散射可获得等离子体外围中性杂质成分分布；(6) 用激光吹气法可以估算杂质粒子的约束时间。

（撰写：邓中朝 审订：钱尚介）

dengliziti jiasuqi

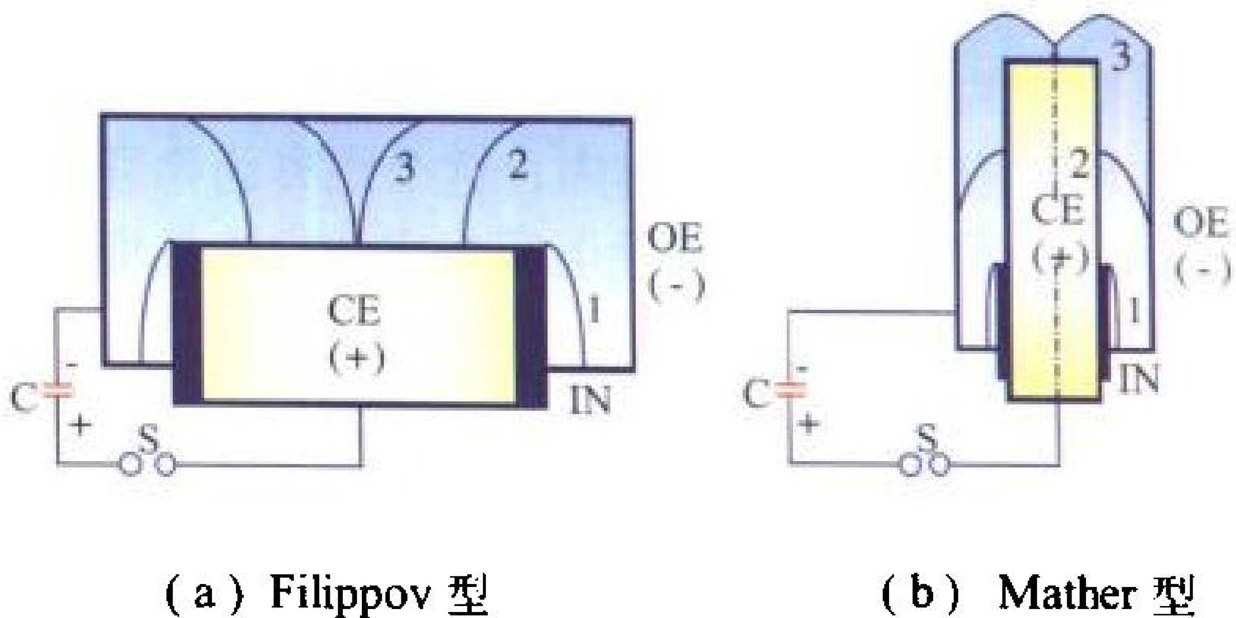
等离子体加速器 plasma accelerator 利用电子束或激光束在等离子体中激发的等离子体波来加速另一电子束脉冲的一类新型加速器，包括由电子束或激光束驱动的等离子体尾场加速器和等离子体拍频波加速器等。在激光等离子体尾场加速器中，其最佳激光脉冲长度应为等离子体波长的一半，在高密度等离子体时（比如，$10^{18}\,cm^{-3}$），得到如此短脉冲是十分困难的。对于更长脉冲，若激光功率能高过自光导阈值，获得自调制的激光可产生很强的等离子体波，可以把本底等离子体电子加速到很高能量，这就是自调制激光尾场加速器。等离子体拍频波加速器采用两束长脉冲激光，共轴穿过等离子体，使两者的频率差等于等离子体频率，以产生拍频波，由此在等离子体中激励起相速等于激光群速、群速为零的等离子体波。但随着等离子体波的增强，它将与激光失谐。在等离子体密度为 $10^{16}\sim10^{17}\,cm^{-3}$ 时，最大加速场强就可达到几个 GV/m。目前，等离子体加速器仍处在理论研究和原理验证试验阶段。 （撰写：傅世年 审订：张闯）

dengliziti jiazai weibo qijian

等离子体加载微波器件 plasma-loaded microwave devices 一类存在背景等离子体的高效、高功率微波器件，包括等离子体辅助慢波振荡器、等离子体填充耦合腔行波管等。这种器件与通常的真空管微波器件在很多方面有显著差别，包括电子注的产生、传输，以及与电磁波的相互作用等。等离子体阴极电子枪不需要加热阴极，在低压等离子体辉光放电中，可以拉出高于空间电荷限制数倍的大电流，因此是高功率微波器件。电子注在传输时，自身形成等离子体通道，不会因空间电荷力而散焦，器件无需外加磁体，从而大大减少了器件的体积与重量。在背景等离子体的情况下，真空电磁场与等离子体模式耦合，当电子注与混合模式作用时，使频带展宽，增益提高，效率提高。 （撰写：杨中海 审订：钱尚介）

dengliziti jiaodian zhuangzhi

等离子体焦点装置 plasma focus device 在低气压工作气体中，高电压快速脉冲大电流放电，电流鞘层在自磁力的作用下最后箍缩，形成稠密等离子体焦点的装置。稠密等离子体焦点（简称 DPF）的物理特征是高密度（$10^{18}\sim10^{20}\,cm^{-3}$），高温度（几千电子伏）、短寿命（50～200 ns）。焦点研究始于20世纪60年代，前苏联 N.V.Filippov 从Z箍缩装置发展成平板型焦点装置；同一时期，美国 J.W.Mather 沿着同轴枪加速器的思路发展成同轴型焦点装置。这两种装置的结构形式不同（如图所示）。早期的焦点研究主要是研究高温、高密等



（a）Filippov 型 （b） Mather 型

等离子体焦点装置示意图

CE—内电极（阳极）；OE—外电极（阴极）；IN—绝缘子；C—储能电容；S—火花开关

等离子体运动过程：1—击穿过程；2—加速阶段；3—箍缩过程

离子体物理，探索核聚变。近20年来，DPF脉冲中子源、X射线源、电子束和离子束的研究已取得很大进展。

（撰写：韩旻　审订：钱尚介）

dengliziti ju feiwu chuli

等离子体炬废物处理 torch plasma waste processing 利用热等离子体作热源进行高温分解并由等离子体环境下的物理化学反应来处理有毒有害物质。由等离子体发生器形成等离子体射流。待处理废弃物以一定的形式进入等离子体，经过处理后的产物被回收、利用或达标排放。就发生器而言，应用最多的是直流电弧等离子体。等离子体化学过程具有高焓、高温（$10^3 \sim 10^4$ K）反应时间快（$10^{-5} \sim 10^{-2}$s）的特点，因而对原材料的构成不敏感，可用于处理高熔点材料。等离子体废物处理有：医疗废弃物，垃圾，核废料，造纸废液，有毒有机废物，铝渣等。　（撰写：朱学武　审订：钱尚介）

dengliziti keshi

等离子体刻蚀 plasma etching 利用等离子体技术的超大规模集成电路的刻蚀工艺，又称干法刻蚀。在超大规模集成电路的制备中，需要在基片上制作各种电路和光栅。传统做法为湿刻蚀，即用酸碱溶液腐蚀，刻蚀出的图形的线较宽并有严重污染。以硅基片为例，将制有图形的 Si_3N_4 基片放入反应性等离子体中并施加射频偏压，反应性离子在鞘层电场的作用下，入射到 Si_3N_4 上的裸露部分并进行刻蚀化学反应。随着放电过程的不断进行，位于 Si_3N_4 层下面的 SiO_2 也受到刻蚀，从而制备出所需的图形。目前，采用等离子体刻蚀技术制备出的图形线宽已达到亚微米量级（0.15 mm 左右），且正在向深亚微米发展。　（撰写：王友年　审订：钱尚介）

dengliziti kuosan yu qianyi

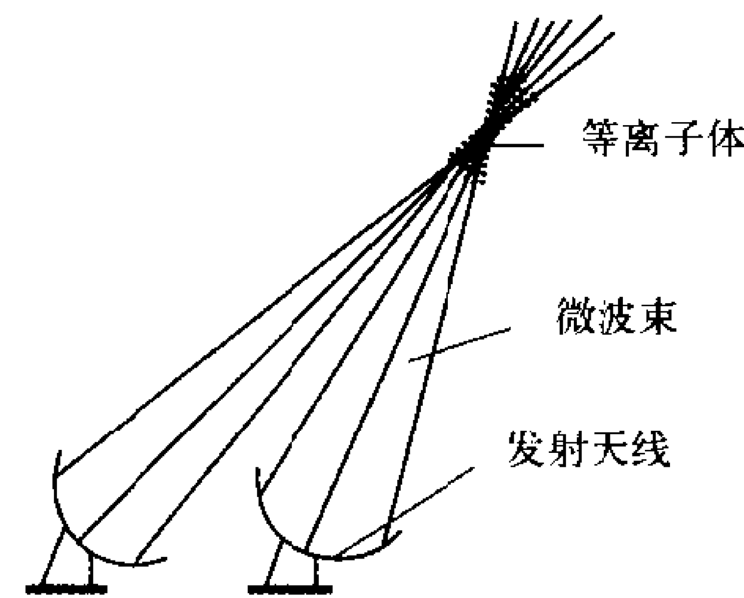
等离子体扩散与迁移 plasma diffusion and mobility 由于等离子体密度梯度和电场的作用造成的输运。无磁场时弱电离等离子体中有起因于密度、速度、温度和静电势梯度的粒子、动量、能量和电荷的四种直接输运，它们分别导致粒子的扩散、黏滞性、热传导和迁移。

等离子体中的粒子由碰撞引起的运动为无规行走，其步长等于碰撞的平均自由程。如果存在密度梯度，无规行走结果是粒子从高密度区向低密度区扩散，为扩散输运。在工业等离子体中，常遇到在电场作用下的粒子迁移，形成等离子体电流。在大多数工业等离子体中，放电气压不变，迁移率是碰撞频率的函数，并大体保持常数。在磁约束核聚变的欧姆加热计算中，斯必泽（Spitzer）电导率与电子温度的3/2次方成正比，等离子体欧姆加热效率随电子温度升高而下降。

（撰写：钱尚介　审订：黄林）

dengliziti lanjie

等离子体拦截 plasma intercept 一种利用等离子体（电离气体）破坏飞行器及其制导系统的阻击技术。在大气中，当微波电场超过1～3kV/cm时击穿气体形成等离子体（见图）。击穿条件比长脉冲下击穿高约10倍。当使用10 ns的微波脉冲时，形成的等离子体可能存在数微秒甚至更久，其等离子体密度可达到10^{12}cm^{-3}。为了防止微波刚发射时在地面上即产生电离，采用几束不同位置发射的微波，使传输中电场不超过临界电场而只在目标区叠加超过临界电场形成等离子体区。在纳秒级微波作用下，在气体击穿前，电子可被迅速加速到0.9～900 eV。此期间部分微波功率仍可透过等离子体而到达目标。因地面发射的微波武器亦受到气体击穿的限制，故它们有类似的问题。



击穿气体形成等离子体示意图

（撰写：钱尚介　审订：李启瑞）

dengliziti lizishu tanzhen zhenduan

等离子体粒子束探针诊断 plasma diagnostics with particle beam probe 利用主动地向等离子体注入的粒子束作为探针的主动诊断方法。它通过注入束粒子与等离子体粒子间的相互作用，或与电磁场作用的结果来研究等离子体特征。

根据粒子束带电或不带电，粒子束探针可分为离子束探针和中性束探针。其中中性束探针，特别是氢中性束探针、可利用托卡马克的加热中性束作为探针。用谱线的多普勒加宽和多普勒位移，中性束探针电荷交换复合谱诊断，可获得有时空分辨的等离子体离子温度和旋转速度等参数；用动态斯塔克效应可获得等离子体电流密度分布。

（撰写：张集良　审订：钱尚介）

dengliziti liangreqi zhenduan

等离子体量热器诊断 plasma diagnostics with calorimeter 用量热器测量等离子体能量损失并进行数据分析和判断等离子体特性的方法。用热电偶等测量核聚变装置的限制器和内真空室等的温度变化，可分析等离子体的行为。用金属薄膜电阻、半导体热敏电阻、热释电晶体等制成的量热器测量等离子体热辐射功率或能量，可研究等离子能量平衡、能量约束性能和等离子体中所含杂质浓度和类型。测量等离子体辐射损失功率的量热器通称为辐射热测量计。利用硅半导体吸收光能产生电流的效应制作的辐射热测量计（XUV–Bolometer），响应时间快、探测灵敏度高。

（撰写：施明亮　审订：钱尚介）

dengliziti pinlü

等离子体频率 plasma frequency 见等离子体振荡。

dengliziti qiao

等离子体鞘 plasma shealth 等离子体与物体表面接触，在交接处形成的一层负电位的薄层。它把物体与等离子体隔开。在鞘之外，等离子体不受扰动，物体的电场只终止于鞘层以内。鞘层的厚度与德拜屏蔽长度 λ_D 为同一数量级。在等离子体材料表面改性和合成薄膜工艺中，通常在被加工的工件或基体上施加从几百伏到几十千伏的负偏压，这时，其表面将会形成很厚的离子鞘层。

（撰写：王友年　审订：钱尚介）

dengliziti tanzhen zhenduan

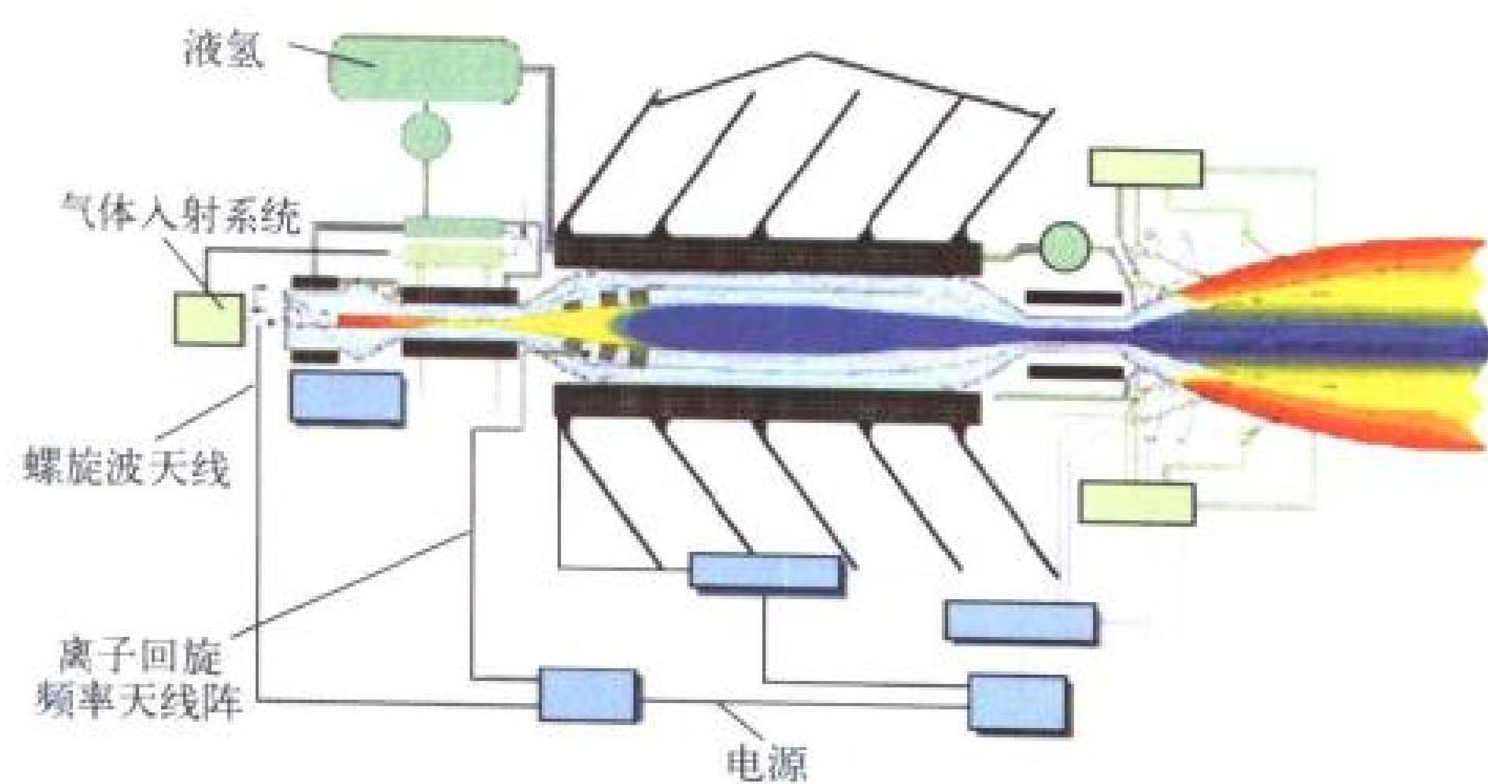
等离子体探针诊断 plasma diagnostics with probes 用导电电极触及等离子体或围绕等离子体放置螺旋和单匝绕组，探测各个等离子体参数的方法。磁探针感知等离子体内的磁场扰动，常用于磁扰动诊断，也用于托卡马克等离子体环电压和

反磁性诊断,各种磁探针的组合是等离子体位形,包括等离子体位移诊断的必备工具。浸入等离子体中的电探针可得到等离子体的参数值，如等离子体密度、等离子体温度、等离子体电位等，以及各自的扰动。探针是最早用于等离子体参数诊断的工具。早期的探针被称为朗缪尔探针，由单个电极构成，现有单探针、双探针、三探针、梳状探针、探针阵列、电容探针、马赫探针、RF 探针等。

（撰写：杨青巍　审订：钱尚介）

dengliziti tuijinqi

等离子体推进器 plasma propulsion　将等离子体或离子加速后，最终将推进剂以等离子体状态高速喷射出去而产生推力的推进器（见图)。等离子体推进器主要包括电弧推进器、离子推进器、霍尔稳态推进器、磁等离子体动力推进器和射频驱动推进器等。由于等离子体可以达到很高的速度，所以与传统化学推进器相比，等离子体推进器的比冲高数倍至数十倍，推进器消耗少数千克至数十千克，体积小，重量轻。现



等离子体推进器示意图

等离子体推进器的寿命已达数千小时。因等离子体推进器的推力小，故主要应用于同步地球卫星的定位、低地轨道卫星的调整和星际深空间飞行。（撰写：刘　平　审订：钱尚介）

dengliziti weibo zhenduan

等离子体微波诊断 plasma diagnostics with microwave　利用微波技术对等离子体参数和行为进行观测的方法。它包括用微波干涉法和反射法测量等离子体电子密度及其分布；用微波辐射和吸收法（主要在电子回旋频率范围）测量等离子体电子温度及其分布；用微波散射法研究等离子体中的扰动和波过程等。随着等离子体密度和约束磁场强度的提高，微波频率向毫米和亚毫米波段靠近。

除了一般的微波干涉仪、微波外差辐射机和微波反射仪外，各种毫米和亚毫米波段的准光学测量仪器，如迈克尔逊干涉仪、法布里—珀罗干涉仪等辐射接收设备也已广泛应用，其测量谱宽可从 40 GHz 到 300 GHz 甚至超过 300 GHz。

（撰写：丁玄同　审订：钱尚介）

dengliziti yinxing

等离子体隐形 plasma stealth　利用等离子体对雷达波的吸收、折射、反射使目标物隐蔽起来，包括飞行器和天线。由于在接近大气压下工作，故必须考虑等离子体中的电子／中性粒子碰撞，如地面大气中碰撞频率高达 10^{12} Hz，比探测波频率还高。10 GHz 微波入射到密度为 $10^{11}\,cm^{-3}$ 的均匀等离子体中的理论研究表明，在适当条件下，反射功率可大为减小。可以在特定罩内产生等离子体并达到隐形目的，如机载雷达天线；也可以在表面上产生等离子体，如飞行器；甚至可以用喷散低电离电位的、非负电性的高速气流产生和加强电离的办法，如喷散某些蒸气。利用等离子体载流的办法也可以达到天线隐形的目的。

（撰写：钱尚介　审订：李启瑞）

dengliziti zhenduan fangfa

等离子体诊断方法 plasma diagnostic methods　测量等离子体参数和观测等离子体特性及其特征量的方法。等离子体参数主要有：电离度、电子成分的密度和温度、各离子成分的密度和温度。描述托卡马克等离子体特性的主要特征量有：环电流密度、环向磁场、磁面、比压 β、平衡位置、安全因子、磁扰动特征量、软 X 射线锯齿振荡特征量、扩散系数、热传导系数、辐射功率、粒子约束时间、能量约束时间、湍流扰动特征量、聚变产物、聚变倍增因子、聚变三重积。诊断方法可归纳为：电磁测量、光学诊断、微波诊断、X 射线诊断、粒子质量与能谱分析、粒子束探针、核测量。环电流密度空间分布是最重要的特征量之一，但迄今还没有可靠的诊断方法。（撰写：秦运文　审订：钱尚介）

dengliziti zhendang

等离子体振荡 plasma oscillation　等离子体中由于各种原因产生电荷分离后,其电子与离子围绕其重心振荡的现象。由于离子比电子重得多，通常是电子作振荡运动而离子近乎静止。这种振荡是等离子体最基本的固有特征，其振荡频率亦称朗缪尔频率。振荡时粒子动能与静电位能不断交换直至碰撞或其他阻尼使能量耗散。振荡频率只与粒子密度有关，而与粒子温度无关。电子等离子体频率 $f_{pe}=8.98\,n^{1/2}$，式中 f_{pe} 的单位为 Hz，n 的单位为 m^{-3}。通常在厘米波或毫米波段。等离子体频率为 $f_p=(f^2_{pe}+f^2_{pi})^{1/2}$，其中 f_{pi} 为离子等离子体振荡频率。因为 $f_{pe}\gg f_{pi}$，故 $f_p\approx f_{pe}$，因此，实用上等离子体频率就是电子等离子体频率。（撰写：钱尚介　审订：黄　林）

dengliziti zhibei eryanghuayou gongyi

等离子体制备二氧化铀工艺 process of preparing uranium dioxide with plasma　用等离子体直接从硝酸铀酰溶液中制备反应堆用 UO_2 粉体的过程。等离子体是当气体中带电粒子密度达到其建立的空间电荷足以限制自身运动时的电离气体。此时 UO_2 的制备在等离子发生装置中进行。较先进的等离子发生器是感应等离子发生器，以氮气或氩气作为等离子体，混入一定比例的氢气，将铀浓度为 200～400 g/L 的硝酸铀酰溶液以一定速度喷入等离子发生器中，在极高温度（6000 K）下，硝酸铀酰分解，六价铀还原，铀氧化物从细小微滴中分离出来，并经管滤器进入容器，再经冷却、压滤、烧结就可制得反应堆用 UO_2 燃料。（撰写：关自斌　审订：牛玉清）

dengliziti zhimo

等离子体制膜 plasma film production　物理气相沉积 PVD 薄膜制备工艺因其温度低、沉积速度高、涂层致密并与基体结合好、无污染等优点而成为当今最常用的工艺。直接把金属气化的蒸镀法只适用于要求不高的装饰膜。溅射制膜是利用气体放电等离子体中的离子被溅射靶的负电位吸引，轰击靶材溅射出原子沉积在工件上。加上磁场后使电子沿磁力线作回旋运动而不直接轰击工件，此称为磁控溅射。来自溅射源的原子进入等离子体区被电离、加速后射入工件的方法称

为离子镀。溅射与等离子体产生可以一并进行，如带磁控溅射的圆柱状多电弧放电，其弧斑在靶面上作S形移动而获得均匀溅射。离子镀可制备超硬镀层，也适用于多元素化合物膜和合金膜制备。（撰写：钱尚介　审订：李启瑞）

denglizitizhong de kulun pengzhuang

等离子体中的库仑碰撞　coulomb collision in plasma　见等离子体中的粒子碰撞。

denglizitizhong de lizi pengzhuang

等离子体中的粒子碰撞　particle collisions in plasma　等离子体中的两个同种或异种粒子间发生的碰撞为双体碰撞。如果碰撞前后的两个粒子总动量和总动能守恒，为弹性碰撞，只有两个质量相近的粒子间的碰撞动能才会有效转移，因此电子与中性粒子间的弹性碰撞动能传递很少。若仅总动量守恒而总动能不守恒，则为非弹性碰撞。等离子体中因粒子带有电荷，故相互作用为库仑互作用力，是一种长程力。偏转角小于90°的为远碰撞，通常多次小角散射积累使粒子状态改变。高温等离子体库仑碰撞占主导地位，系多体碰撞。低温等离子体主要为双体碰撞。由库仑碰撞可以得到：核聚变等离子体中，电子很快达到平衡分布，时间约10^{-4} s，比离子平衡快40倍，而离子与电子之间达到平衡分布要0.2 s，所以核聚变等离子体中电子与离子温度常不相等，它们可以用不同技术手段分别加热。（撰写：钱尚介　审订：黄　林）

denglizitizhong de shuangti pengzhuang

等离子体中的双体碰撞　two-body collision in plasma　见等离子体中的粒子碰撞。

denglizitizhong de tanxing pengzhuang

等离子体中的弹性碰撞　elastic collision in plasma　见等离子体中的粒子碰撞。

dengliziti zhongxing lizi zhenduan

等离子体中性粒子诊断　plasma diagnostic with neutral particle　从等离子体逃逸出来的中性粒子的测量和分析推算出等离子体参数的方法。磁约束聚变等离子体中，由于电荷交换产生的中性粒子不受强磁场束缚，可以自由地逃出等离子体，因而可以确定等离子体中心区的离子温度、离子速度分布函数和中性粒子密度等参数。通常在逃逸中性粒子通过电荷交换离子化后，对中性粒子产生的离子进行分析与探测。国内外常用通道式电子倍增器或微通道板进行探测。采用平行板静电能量分析器测量中性粒子能谱，推算等离子体中心离子温度，或者采用同时具有磁场和电场的质量—能量分析器测量离子的质量和温度。（撰写：张集泉　审订：钱尚介）

dengliziti zhongzi yu X shexian zhenduan

等离子体中子与X射线诊断　plasma neutron and X-ray diagnostics　通过测量和分析等离子体发出的中子和X射线来确定等离子体的特性和行为的诊断方法。高温等离子体有两种中子来源，一是光致核反应产生的光致中子，是由高能X射线与器壁和限制器相互作用产生的，其产额取决于高能X射线强度，能谱很宽。另一种中子源是聚变产物。托卡马克中，X射线分为硬X射线（大于1 MeV）、软X射线（1～20 keV）和中能X射线（15～500 keV），可用于研究逃逸电子行为、磁场扰动、磁流体不稳定性、X射线锯齿振荡、电子速率分布，电子温度、重金属杂质线谱及离子温度、波加热和波驱动的能量沉积及效率。（撰写：杨进蔚　审订：钱尚介）

dengliutai quyang

等流态取样　isokinetic sampling　在保持进入取样头进气口平面的空气流速等于烟囱或管道内未受扰动的空气在取样头安置位置上的流速的条件下所进行的空气取样。在取样头进气速度小于自由气流速度条件下的取样称为亚等流态取样；在取样头进气速度大于自由气流速度条件下的取样称为超等流态取样。最近，美国发布了一个新的国家标准：《对来自核设施烟囱和管道中放射性流出物的取样和监测》。对获得有代表性样品的概念作了重大修改，认为只要在其污染物浓度和流体动量方面，都已验证符合可接受的混匀度数值标准的任何位置上取样，则在该断面上的单点取样就可获得代表性样品。其次，利用数值标准来判断一个取样系统是否能为取样器或探测器提供一个代表性样品，这样，等流态取样的概念由取样嘴和传输管道的设计性能满足取样性能的数值标准所取代。（撰写：夏益华　审订：胡遵素）

dengmidu neibao

等密度内爆　isochoric implosion　近似实现等密度压缩的内爆。惯性约束聚变可以设计不同的内爆过程，以达到不同的终态，等密度就是其中之一。实现严格的等密度内爆是不可能的，但是经过精心设计可以尽量控制热芯大小和温度。要实现热核反应的自持燃烧，必须有一个满足点火条件的热斑。等密度内爆的热斑必须在内爆过程结束后由外源创造，理想的外源加热是瞬时加热。等密度内爆的优点是：与等压内爆比较，驱动能量低，能量增益高，放松了驱动对称性的要求，内爆设计相对容易。（撰写：常铁强　审订：朱少平）

dengshang yasuo yu gaoshang yasuo

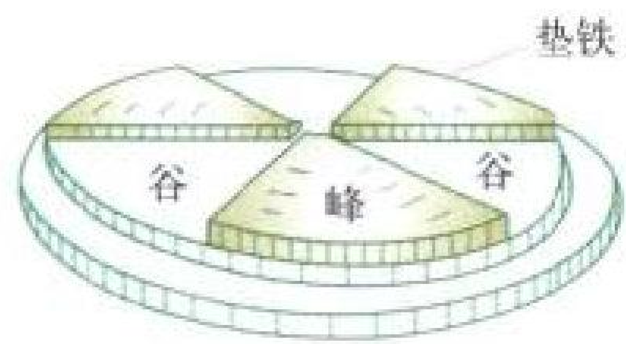
等熵压缩与高熵压缩　isoentropic and high-entropic compressions　物质在压缩过程中熵不变和熵大幅增加的压缩。根据热力学关系 $dE = TdS - pdV$。式中 dE、dS 和 dV 分别为物质内能、熵和体积变化，T、p 分别是温度和压强。$dS = 0$ 为等熵压缩，$dS > 0$ 为增熵压缩。同一物质达到相同压缩度时，增熵压缩的温度升高大于等熵压缩，因此需要花费更多能量。理想的等熵压缩实际上达不到，压缩过程中熵总要增加。在惯性约束聚变中，内爆是一个重要环节。缓慢而连续的压缩是低熵、高密度压缩；强冲击波则导致高熵压缩。此外热传导也引起增熵。（撰写：罗平庆　审订：常铁强）

dengshixing chuanshu

等时性传输　isochronous transmission　见消色散传输与等时性传输。

dengshixing huixuan jiasuqi

等时性回旋加速器　isochronous cyclotron　粒子在加速过程中每一圈的周期都保持为常数的回旋加速器。它是由经典回旋加速器发展而来的。当粒子在旋转对称的磁场中运动时，其回旋周期是 $T = 2\pi m_0 \gamma / (Z_c B)$，$\gamma$ 是相对论因子，m_0 是粒子的静止质量，Z_c 是粒子的电荷态，B 是磁感应强度。可见，要保持 T 为常数，γ / B 必须是一个常数。为确保在不断增高的能量下粒子的运动周期不变，磁感应强度必须相应地增加。



三扇 Thomas 垫铁下部磁铁示意图

等时性回旋加速器可以分为径向扇回旋加速器，分离扇回旋加速器和螺旋扇回旋加速器。径向扇回旋加速器又称托马斯（Thomas）回旋加速器。如图所示为一台三扇的径向扇回旋加速器原理结构，其磁铁扇的峰和谷的分布使上下极面之间的间隙大小沿方位角周期性变化，从而导致沿方位角周期性变化的磁场分布。由于磁场的调变，粒子束的运动轨道不是圆。在磁铁的扇边，粒子的运动方向与磁场的方位分量 $\boldsymbol{B}_\theta$ 之间有一个夹角，产生垂直聚焦力；而磁铁扇的间隙随着半径的增大而减小，这一方面可以形成所需要的等时性场，同时也提供了足够的径向聚焦力。

分离扇回旋加速器是径向扇回旋加速器的发展。它的不同之处是在谷中没有磁铁存在。这样，沿方位角在扇中有磁场，而在谷中磁场为零，有更强的径向聚焦力。螺旋扇回旋加速器是由径向扇回旋加速器发展而来的另一种加速器，它的磁铁扇边不是直的而是随方位角变化的。它能通过一种新的垂直聚焦力，使得磁场沿方位角调变度较小的情况下束流得到足够的聚焦作用。（撰写：王义芳　审订：魏宝文）

dengxiao baiwandunshu

等效百万吨数　equivalent mega tonnage (EMT)　以百万吨TNT当量为单位计量核弹威力的数值的三分之二次方，量纲为1。用公式可表示为

$$\mathrm{EMT} = (Y/Y_0)^{2/3}$$

式中 Y 为核弹威力；Y_0 为 1 Mt TNT。它是用来衡量核爆炸对城市、交通枢纽等面目标破坏能力的一个指标。这是由美国J.B.华尔希于20世纪70年代初首先提出，被称之为华尔希定律。爆炸产生的破坏体积与威力成正比，但城市的建筑物等都分布在地面上，武器威力能发挥破坏作用的主要是沿着地面的一部分冲击波的能量，所以用威力来衡量爆炸对面目标的破坏能力是不太确切的。因为面积是二维的，所以对面目标破坏能力应与威力的三分之二次方成正比。这样，一个 1 Mt TNT 的武器，虽然它的威力相当于投在广岛核炸弹的 50 倍，但其破坏面积仅是广岛核炸弹的 14 倍。

（撰写：竺家亨　审订：郑绍唐）

dengxiao zaosheng dianhe

等效噪声电荷　equivalent noise charge (ENC)　衡量核辐射谱仪前置放大器和滤波、成形系统噪声电荷的一个等效物理量。它是输出噪声电压均方根值 V_n 折合的输入电荷量，即 $\mathrm{ENC} = V_n/h_M$，h_M 是输出电压幅度与输入电荷之比。当输入电流脉冲的电荷量为ENC时，系统的输出电压幅度就等于输出噪声电压的均方根值。ENC的大小主要取决于前置放大器的噪声和滤波、成形电路的性能。如已知ENC，则输出信噪比 η 可由输入信号的电荷量 Q 与 ENC 之比求出。

（撰写：倪建平　审订：席德明）

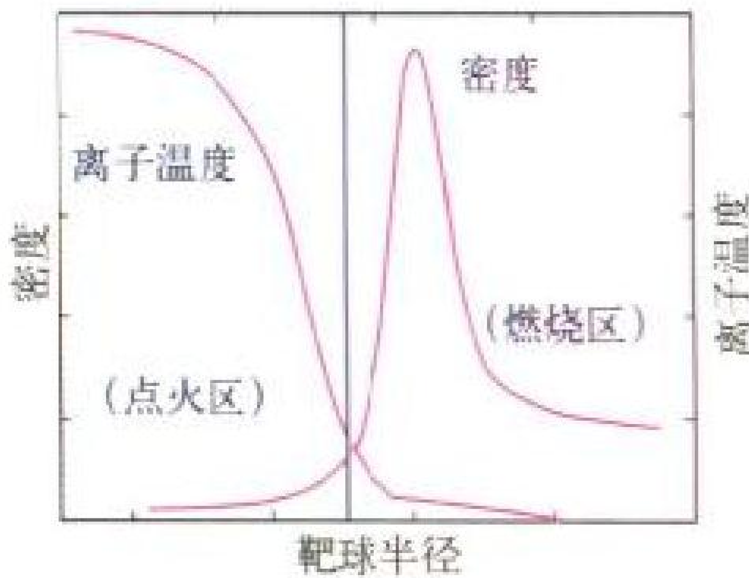
dengxiao zaosheng dianya

等效噪声电压　equivalent noise voltage (ENV)　电压脉冲放大器的输出端随机噪声的均方根值除以信号的放大倍数。ENV不是一个实在的物理量，它并不等于输入端噪声的均方根值，但可以用来计算不同幅度输入信号时系统的信噪比 η（η = 输入幅度 /ENV），并由此判断系统可以放大多弱的信号时仍有足够的信噪比。ENV的数值由实际存在于放大器输入端的噪声功率谱密度和放大器的频率响应所决定。

（撰写：倪建平　审订：席德明）

dengya neibao

等压内爆　isobaric implosion　造成热核点火区及其周围的主燃烧区压强基本相同的内爆。等压内爆压缩结果的温度和密度分布如图所示。点火区需满足点火条件，相对而言点火区是高温、低密度状态、而主燃烧区是低温、高密度状态，这样的分布使得点火区和主燃烧区的压强近似相等。等压内爆是目前实现惯性约束聚变中心点火的主要途径，也是点火靶和高增益靶设计的重要类型。

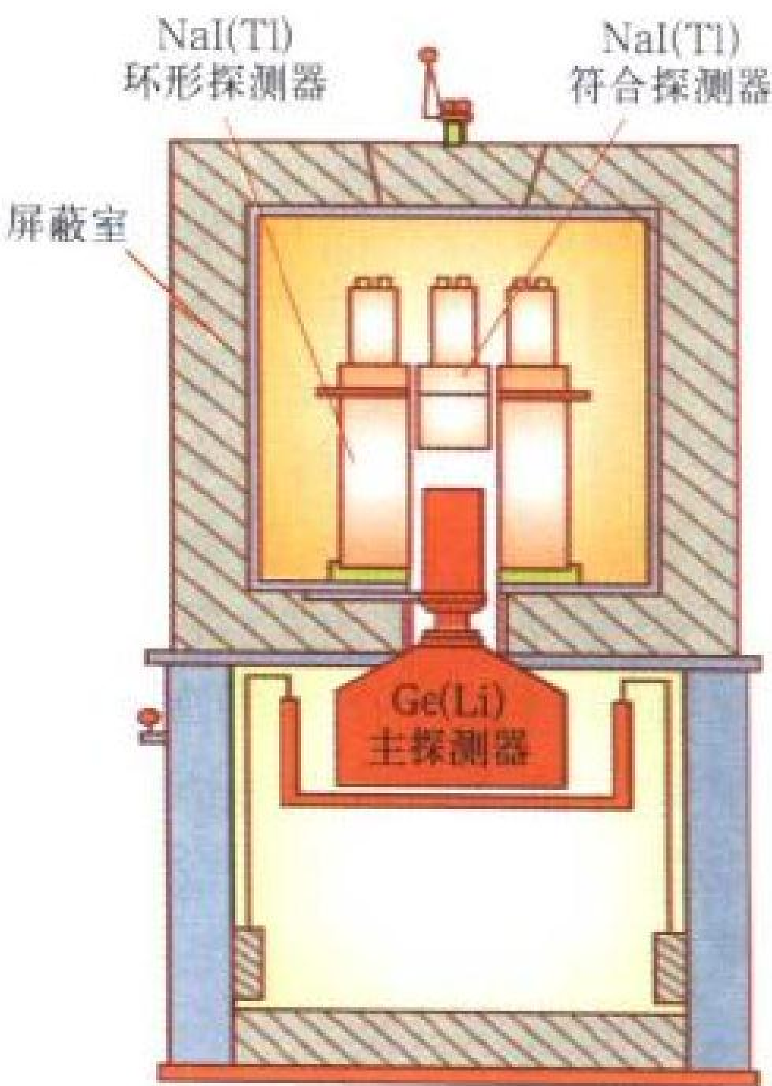


等压内爆温度、密度示意图

（撰写：李沄生　审订：常铁强）

dibendi fankangpudun γ shexianpuyi

低本底反康普顿γ射线谱仪　anti-compton γ-ray spectrometer with low background　一种用来测量低活度放射性样品γ射线能谱的仪器，用环形探测器将主探测器包围，对被主探测器与环形探测器同时记录到的γ射线信号采用反符合方法使之不被记录，同时，还使被散射而进入到反符合屏蔽探测器的信号也不被记录，这就降低了康普顿散射所产生的γ射线计数。这种装置称为反康普顿γ射线谱仪。如果在该谱仪外包以屏蔽室以便进一步降低本底，则整套装置称为低本底反康普顿γ射线谱仪。主探测器现在多用高纯锗探测器，而环形探测器则为NaI (Tl) 晶体（见图）。该谱仪由于综合运用γ射线屏蔽和反符合技术两种方法来降低γ射线本底，因而比普通的γ谱仪具有很大的优越性，在现代核环境监测、辐射防护、放射性生物学和核医学等领域，测量低比活度的样品中得到了越来越广泛的应用。（撰写：丁声耀　审订：容超凡）



低本底反康普顿γ射线谱仪的屏蔽室和探测器示意图

dibihuodu wuzhi

低比活度物质　low specific activity material　本身比活度有

限的放射性物质，或估计的平均比活度低于有关限值的放射性物质。确定估计的平均比活度时不考虑低比活度物质周围的屏蔽材料。低比活度物质分为三类。Ⅰ类低比活度物质包括：(1) 铀和钍的矿石及其浓缩物和含有天然放射性核素的其他矿石，这种矿石用来加工成可使用的该种天然放射性核素；(2) 未经辐照的固体天然铀、贫化铀和天然钍，以及它们的固体或液体的化合物或混合物；(3) 放射性核素的基本值A_2不受限制的放射性物质，但不包括易裂变物质；(4) 其中的活度分布遍及各处且估计的平均比活度不超过放射性核素的基本值所规定的活度浓度值的 30 倍的其他放射性物质。Ⅱ类低比活度物质包括：(1) 浓度低于 0.8 TBq/L 的氚水；(2) 其中的活度分布遍及各处且估计的平均比活度不超过以下值的其他物质：对固体或气体不超过 $10^{-4} A_2/g$，对液体不超过 $10^{-5} A_2/g$。Ⅲ类低比活度物质包括下列非粉末状态的固体(例如固化废物，活化材料)：(1) 其中的放射性物质分布在整个固体或一堆固体物件内，或基本上均匀分布在密实的固态粘结剂(例如混凝土、沥青、陶瓷材料等) 内；(2) 其中的放射性物质是比较难溶的，或实质上是包容在比较难溶的基质中的，因此即使货包在失去包装的情况下被泡在水中，7 昼夜内每件货包因浸出损失的放射性物质不会超过 0.1 A_2；(3) 估计的固体平均比活度 (不算屏蔽材料) 不超过 $2 \times 10^{-3} A_2/g$。

（撰写：董柳灿　审订：赵亚民）

diduxing α fasheti

低毒性 α 发射体　low toxicity α emitters　天然铀、贫化铀、天然钍、^{235}U 或 ^{238}U、^{232}Th、在矿石或物理和化学浓缩物中所含有的 ^{228}Th 和 ^{230}Th 以及半衰期小于 10 天的 α 发射体。它是为放射性物质安全运输而专门规定的。

（撰写：董柳灿　审订：赵亚民）

difang feiwu

低放废物　low level radioactive waste (LLW)　放射性核素的含量或浓度较低，在正常操作和运输过程中通常不需要屏蔽的放射性废物，全称低水平放射性废物。各国的放射性废物分类方法差别很大，尚没有统一标准。我国发布实施的《放射性废物的分类》GB 9133 — 1995 规定低放废物为：低放气体废物，排放限值＜放射性浓度 $A \leqslant 4 \times 10^7$ Bq/m^3；低放液体废物，排放限值＜ $A \leqslant 4 \times 10^6$ Bq/L；低放固体废物，清洁解控水平＜ $A \leqslant 4 \times 10^6$ Bq/kg。低放废物在放射性废物中所占份额很大，但其处理和处置方法相对简单，费用低。

（撰写：罗上庚　审订：孙东辉）

dijiliang fushe

低剂量辐射　low dose radiation　又称小剂量辐射，但用得较少。对受照射人群而言，低剂量辐射被定义为 0.2 Gy 以内的低 LET (传能线密度) 辐射或 0.05 Gy 以内的高 LET 辐射。当低剂量辐射的剂量率达 0.05 mGy · min^{-1} 或更低时则称为低水平辐射。界定什么是低剂量辐射，因观察的对象不同而有很大的差别。例如对细菌和哺乳类细胞，引起同样效应的低剂量辐射可以相差百倍。放射生物学和辐射防护关心的主要是影响人体健康的辐射剂量。已知大、中剂量 (0.5 Gy 以上) 的电离辐射对人体可造成损害，但更低剂量的电离辐射是否对人群健康有害则尚未确定，因而也是正在积极研究的问题。实际上人类长期以来一直接受来自地表、空间和体内的各种电离辐射，是为天然本底辐射。由于地理位置和地表结构的不同，世界各地的天然本底辐射水平可有一定的差别，有的地区的天然本底辐射水平可高于平均水平数倍甚至数十倍，这些地区被称为天然辐射高本底地区。另一方面，随着核技术和核能应用的不断推广，环境中和某些职业岗位上可有微量的电离辐射增加，使相关人群受到天然本底辐射以外的额外照射。

（撰写：刘树铮　审订：孙世荃）

dimisanxing fangshexing wuzhi

低弥散性放射性物质　low dispersible radioactive material　具有有限的弥散性但不是粉末状态的固体放射性物质或是装在密封小容器内的固体放射性物质。

（撰写：董柳灿　审订：赵亚民）

dineng zhonglizi pengzhuang

低能重离子碰撞　heavy ion collision at low energies　每核子能量 20 MeV以下，比 ^4He 重的离子与靶核的碰撞。20 MeV 为核子在核内的费密动能，在这个能区的碰撞过程中，核子—核子之间的关联起着重要的作用。重离子碰撞的特点是：(1) 弹核种类多，原则上，几乎所有元素的稳定同位素，加上近年发展的放射性核束装置产生的非稳定核素的离子束，都可作为入射离子，极大地扩展了弹核的品种和弹靶组合的多样性；(2) 库仑相互作用强；(3) 碰撞过程中形成的复合核的激发能高，一般为几十兆电子伏，有时甚至高达 100 MeV 以上；(4) 复合核的角动量大，可使剩余核处于高自旋态；(5) 重离子的波长短，可用经典粒子碰撞的轨道图像来描述相互作用的深度。

按碰撞参数或相互作用深度的不同，重离子碰撞可分为：(1) 远距离相互作用，只发生卢瑟福散射和库仑激发；(2) 擦边相互作用。碰撞参数约等于两核半径之和时，核力开始起作用，但作用时间短。主要反应是弹性、非弹性散射和少数核子转移反应；(3) 深度非弹性碰撞。碰撞参数继续减小时，核力相互作用增强，作用时间加长，有相当多核子参与反应，发生大量核子、能量和角动量的转移，但两核并不熔合，相互作用后分开；(4) 全熔合或非完全熔合反应。碰撞参数减小至临界值时，由于相互作用时间足够长，两核全部或大部分核子熔合，形成复合核。熔合体先发射粒子，而后再达到平衡态的过程也属于熔合反应。

（撰写：白希祥　审订：许谨诚）

diwenbeng

低温泵　cryopump　利用低温表面捕集气体，减少气相的气体和蒸气分子而产生抽气作用的真空泵。用低温介质 (液氦或液氢) 将真空中的抽气表面冷却到 20 K 乃至 4.2 K 以下，低温表面就能大量冷凝沸点温度比该表面温度高的气体分子；低温表面如附有吸附剂，则对沸点温度较低的气体也有冷凝吸附的抽气作用。在低温泵内，低温表面周围通常设有 70～80 K 温度的隔热屏，除用以降低低温表面的热辐射损失外，还对水蒸气等蒸气起高速抽气作用。

（撰写：陈文奎　审订：关遐令）

diwen dengliziti

低温等离子体　low temperature plasma　比受控核聚变等离子体温度低得多的等离子体。从热力学平衡看，热平衡等离子体，如电弧等离子体、化学燃烧等离子体，电子温度仅10^4 K 至 10^6 K，离子温度较低，为 10^3 K～10^4 K。非热平衡的冷等

离子体，如辉光放电，电子温度接近 10^4 K，而离子温度仅为室温。工业应用低温等离子体是一个更复杂的体系，不仅包括电子、正离子、负原子或分子离子还有分子、自由基、激发态原子、基态原子和光子等化学活性粒子。等离子体过程包括电离、分子离解、激发、辐射等元过程以及不同的化学过程，其中离子轰击表面和中性自由基表面化学是最重要的过程。（撰写：钱尚介　审订：黄　林）

diwen jingliu

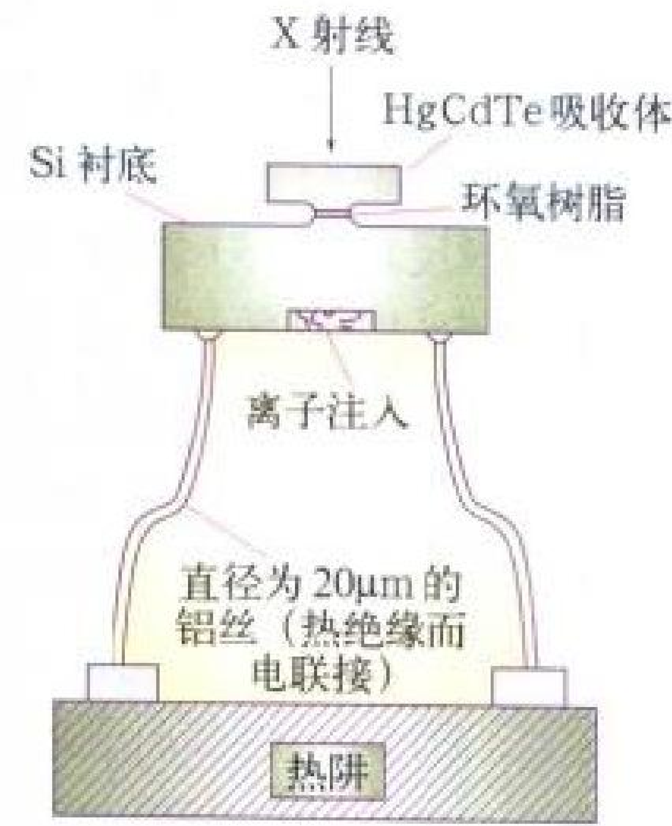
低温精馏　cryogenic rectifying　在低温（90 K）下进行多级蒸馏达到同位素分离的方法。一般说来，较轻同位素分子的蒸气压较大，通过蒸馏，轻同位素组分在气相中富集，重同位素在液相中富集。有些被蒸馏的物质如 H_2、N_2、O_2 等必须在低温下才能液化。液态同位素混合物可看作是理想溶液，因此分离系数就是混合物中两种同位素分子各自在纯态时的饱和蒸气压之比值，即

$$\alpha = p_2^0 / p_1^0$$

式中 p_2^0，p_1^0 分别为同位素分子 1 和 2 的饱和蒸汽压。不同同位素分子在挥发度上的差异是由其分子零级振动能的不同所引起的，而这种差异又与它们的相对质量差有关。因此，轻元素同位素分子的蒸馏分离系数比重元素的大。精馏法仅适用于轻元素同位素的分离。它是目前工业规模分离氢同位素的主要方法之一。（撰写：何可学　审订：韩延德）

diwenliangre hefushe tanceqi

低温量热核辐射探测器　cryogenic calorimetric nuclear radiation detector　利用入射射线被吸收体吸收而完全“热化”，使吸收体温度增加，通过测量吸收体温度增量 ΔT（ΔT 正比于吸收体吸收射线的能量），从而实现对致电离，极少致电离、甚至不致电离的粒子（或事件）的能量的测量（见图）。$\Delta T = \mathrm{d}E/c$，式中，c 是吸收体的比热容，所以为使吸收体吸收射线能量后温度有明显的提高，就要求吸收体的比热容要小。它有两类：一类是由起吸收体作用的比热容非常小的晶体材料和与此吸收体之间有很好热接触的高灵敏度的热敏电阻组合而成；另一类用超导体组成。它的特点是能量分辨率高，因为它所需要的激活能很小，仅为 0.1～1 meV，可以认为粒子的能量能全部用来使吸收物质“热化”，所以 FWHM=$\eta(s)\sqrt{kT^2c_V}$。k 是玻耳兹曼常数，T 是工作温度，c_V 是探测器的比定容热容，$\eta(s)$ 是无量纲常数，取决于热敏电阻的灵敏度 s，对硅、锗来说 $\eta(s)$ 在 1 与 2 之间。（撰写：丁洪林　审订：彭华寿）



高灵敏度硅低温量热核辐射探测器示意图

diwen xifu zhuangzhi

低温吸附装置　cryogenic adsorption system　在低温条件下，利用某种吸附剂吸附放射性气体，并使之滞留衰变的一种气体处理装置。在反应堆废气处理系统中采用的低温条件下工作的活性炭滞留床便是此类吸附装置的一种。（撰写：刘春秀　审订：贾　明）

dixielou duixin

低泄漏堆芯　refueling core for low neutron leakage　采用能够减少中子的径向泄漏的燃料管理方案所构成的堆芯（参见堆芯燃料管理）。（撰写：唐富初　审订：杨传德）

dixian

滴线　drip line　中子分离能 $S_n = 0$ 和质子分离能 $S_P = 0$ 的原子核在核素图上形成的连线。滴线是对原子核稳定性边界的一种描写。由于生成截面小和寿命极短等原因，实验上确定滴线原子核并不容易。各种核结构理论模型可以预言滴线的位置，但相互差异较大。一般估计，滴线以内有一定寿命的原子核总数可以达到约 8000 个。（撰写：张建玮　审订：叶沿林）

dici pingbi

地磁屏蔽　earth magnetic shield　屏蔽地磁的装置。用于屏蔽地磁场，使仪器、设备所需的空间仅存在极弱的地磁影响。大多用于精密测量、超导装置中。屏蔽装置一般用高导磁系数材料构成，如：玻莫合金、非晶态金属等。屏蔽装置最好是密闭的，对于不易密闭的开端部分，应尽可能延长屏蔽长度。处于超导态下的超导体，只有在低于由物质和温度所给定的临界磁场（H_C）时，才具有完全抗磁性和完全导电性，如果外加磁场高于 H_C，超导态就被破坏而转变为正常态。地磁场的存在将成为外加磁场的一部分，它至少有 30 μT 的场强，一般屏蔽后可以使地磁场减小至 1/10，其在超导时引起的损耗可以忽略不计。（撰写：赵　菱　审订：王传英）

dijin dixiashui wuran zhili

地浸地下水污染治理　treatment of contaminated groundwater for in-situ leaching　地浸采铀结束后，将残留于含矿含水层中少量溶浸液和浸出液进行清除，使地下水水质达到国家有关部门规定标准所进行的工作。主要方法有：(1) 地下水清除法，通过不断抽出污染的地下水，让污染区周围的清洁水涌入采区取代污染的地下水，从而使污染区水质逐渐恢复；(2) 反渗透法，将污染的地下水抽出地表经反渗透装置进行净化处理，处理后的清水重新注入井场；(3) 自然净化法，残留地污染溶液通过一段较长时间与岩石发生离子交换、沉淀、地下水稀释、自然水动力弥散及分子扩散等作用，从而使溶液的污染逐渐自然消失；(4) 还原沉淀法，将 H_2S 注入含水层，还原和沉淀一些有害元素，包括铀在内的重金属元素。（撰写：苏学斌　审订：李开文）

dijin yegubi

地浸液固比　liquid solid ratio in leachate of in-situ leaching　在原地浸出过程中达到一定金属浸出率时溶浸液的数量与被浸矿量或矿岩量的比值。它不仅受矿体厚度、溶浸液垂向迁移的厚度（有效厚度）、含矿含水层渗透性能、注入溶浸液的体积、溶浸液配方、平均浸出液铀浓度等条件的影响，而且随着金属浸出率增加而增大，随溶浸液中溶浸剂浓度的提高而减少。通过液固比，可以预测地浸采铀矿山浸出液铀浓度，判断和预测矿层酸化与浸出时间，确定最佳溶浸液配方，指导地浸矿山生产。由于溶浸液在平面上的扩散范围一般都大

于采区的几何范围，而且溶浸液沿矿层注液孔运移途中，也不可避免发生垂向迁移，实际浸出厚度要大于矿层厚度，故计算液固比时，应认真计算溶浸区的溶浸面积和有效厚度。溶浸面积和有效厚度的计算可通过三维计算机软件实现。

（撰写：苏学斌　审订：李开文）

dijin zonghe cejing

地浸综合测井　combined logging for in-situ leaching　在地浸采铀中综合使用几种物理测井方法，掌握岩（矿）层有关规律，并获取地浸采铀中有关参数。具体作用是：(1) 钻孔剖面的岩性识别、岩层划分，编制钻孔地质剖面图；(2) 确定铀矿层的深度、厚度和铀含量；(3) 判断含矿砂岩层的渗透性能，计算渗透系数、孔隙度和含泥量等；(4) 检测聚乙烯套管安装质量和过滤网管的位置；检测固井质量，测量水泥环是否完整，是否有空洞或裂隙等；(5) 跟踪监测生产矿层的酸化渐变过程和溶浸液的分布区域以及溶浸液向隔水层上部渗透；(6) 测量浸采矿层的剩余铀的质量和铀浸出后的二次富集情况。完成上述测井任务的测井方法有：放射性γ测井、瞬时裂变中子测井、自然电位测井、电流测井、感应测井、声速和声幅测井、密度测井、井径和井斜测井等。

（撰写：刘则尧　审订：李开文）

dijin zuankong

地浸钻孔　well of in-situ leaching　供地浸采铀专用的抽液孔、注液孔、观察孔。它的结构和构造形式，包括开孔直径，终孔直径，套管和过滤管直径大小、类型、结构与连接方式以及钻进工艺参数等。地浸钻孔是地浸工艺系统中最重要的环节，钻孔工程的质量、成本和工作方式对地浸采铀技术经济指标影响很大。地浸钻孔要承受一定的压力、有较大的抽注液能力、能向不同矿石品位和不同渗透性的矿段分配不同数量的溶浸液，并能长期保持稳定的生产能力和一定的服务年限。确定地浸钻孔结构时应考虑以下几点：(1) 矿床地质和水文地质条件；(2) 钻孔布置形式；(3) 钻孔的生产能力；(4) 溶浸液注入与提升方式；(5) 钻孔的用途；(6) 管材的防腐能力等。地浸生产钻孔套管常采用聚氯乙烯塑料管（PVC 管）、高密聚乙烯管，也可采用不锈钢管。过滤管类型有圆孔包网式过滤管、窄缝式过滤管和填砾过滤管。我国地浸铀矿山主要采用的钻孔结构有：局部扩孔填砾结构和托盘结构两种。

（撰写：苏学斌　审订：李开文）

dimian chenjichongxi

地面沉积／冲洗　deposition/washout　放射性核素自大气中向下垫面（地面，植被、建筑物等）的质量转移过程。可以分为干沉积和湿沉积，后者分为雨洗（云中清洗）和冲洗（云下冲洗），二者统称为冲洗。

与云和降水作用无关的沉积为干沉积。直径小于 20 μm 的气载粒子或气体主要通过重力作用、碰撞和扩散等物理过程，气体污染物主要通过下垫面的吸收和反应等化学过程而向下沉降。大于 10 μm 的颗粒由于重力作用而沉降。细颗粒被附着后也能由于重力而沉降到下垫面。碰撞和扩散作用能把粒子粘附到地表、植被及建筑物上，能发生碰撞的是半径大于 0.5 μm 的粒子；易于扩散的是半径小于 0.01 μm 的粒子，故半径在 0.1 μm 左右的粒子难于沉积到地面。总之，干沉积涉及复杂的物理、化学和生物学机理，影响干沉积量D_{dep}的有气象学因素（温度、湿度、风和稳定度等）、下垫面特性（海洋、植被、土壤成分和含水量等）、以及污染物的性质（粒子尺寸及表面特性、污染气体的化学成分及活泼性等），而最主要的是污染物本身的浓度。干沉积速度 v_d $(m \cdot s^{-1})$、干沉积量 D_{dep} $(Bq \cdot m^{-2} \cdot s^{-1})$ 和近地面大气层内污染物浓度 $C(x, y, o)$ 之间有如下关系

$$D_{dep} = v_d C(x, y, o)$$

由于云和降水的作用而将污染物从大气中清除到下垫面的过程称为湿沉积。也称降水清洗或降水洗脱过程，有云中洗脱（又称雨洗或雨除）和云下洗脱（又称冲洗或洗除）。主要机理有：(1) 污染物作为凝结核和冰核而进入云滴和冰晶；(2) 云中气溶胶小颗粒通过布朗运动、湍流扩散的热漂移、电吸引等作用与云滴合并；(3) 雨、雪等降水通过重力碰撞清除云下较大（半径大于 1 μm）颗粒；(4) 云、雨滴在云下蒸发形成温度场和水汽场，因热漂移大于水汽扩散作用，总效果有利于小颗粒合并在水滴中。以上四种过程使气溶胶污染物随同降水最终沉积到地表。此外，(5) 某些气体污染物溶入云滴或被降水带到地表。

湿沉积速率 $\dot{\omega}$ $(Bq \cdot m^{-2} \cdot s^{-1})$，空气中污染物浓度 $C(x, y, o)$ 和云层高度 L(m) 之间有如下关系（对于＞1 μm 的粒子）

$$\dot{\omega} = \Lambda \int_0^L C(x, y, z) dz$$

式中 Λ 捕集系数 (s^{-1})。　（撰写：张永兴　审订：陈竹舟）

dimian fangshexing chenjiang yubao

地面放射性沉降预报　ground radioactive fallout prediction　又称地面放射性沾染预测（或估算）。根据核爆炸探测参数（核爆炸时间、位置、威力、方式等）与气象条件，对核爆炸地面放射性沾染参数及其对战场人员的危害进行的预测和评估。在地面核爆炸时，地面放射性沾染范围大，持续时间长，是杀伤广大下风地区人员、阻碍其军事行动的重要手段。其主要作业内容是：计算核爆炸地面γ辐射水平、表面沾染活度、空气沾染的体积活度等参数的地理分布及其随爆后时间的变化；提供地面放射性沾染对人员轻、中、重和极重度危害区域的范围和图形；计算人员在沾染区内停留或通过时遭受的辐射剂量；评估核爆炸地面放射性沾染对部队战斗力的影响。关于预测用的数学模型大致分为两类：一是通过理论分析，建立用计算机模拟沉降过程的数学模型；二是根据试验测量，建立宏观逼近的经验或半经验估算公式。对于野战作业，后一种方法更为实用。主要预测器材有前期应用的各种手动作业器材，如防化作业包等，以及目前应用的以计算机为核心的防化指挥作业箱等。

（撰写：李江辰　审订：王　坚）

dimian fushe zhencha

地面辐射侦察　ground radiation reconnaissanle　在地面实施的辐射侦察。陆军各兵种，以及空军机场、基地，海军码头、基地等为查明核爆炸后形成的放射性沾染地域γ辐射水平（地面γ剂量率）而进行的侦察。

（撰写：王　坚　审订：毛用泽）

dimian γ nengpu celiang

地面γ能谱测量　surface(ground) γ-spectrometric survey　携带轻便的γ能谱仪，在测区内依选定的比例尺按设定的测网测量地面岩（矿）石或土壤γ辐射场，直接确定其中铀、钍、

钾含量的方法。其特点是轻便、快速、成本低廉。测区通常选在前人工作划分出的远景区内。测量比例尺对于铀矿勘查，取 1 : 50000～1 : 25000 或更大。测线通常沿垂直于岩层、断裂带或控矿构造的走向布置。该方法可有效地用于地质和地球化学填图，勘查放射性矿床和油气藏、金及有色金属矿产等，也可用于环境 γ 辐射的监测。

（撰写：蒋永一　审订：李家俊）

dimian huo dixia hebaozha huishang xiaoying

地面或地下核爆炸毁伤效应　damaging and injuring effects of underground and surface burst　地面或浅层核爆炸的多种毁伤因素及毁伤效果。地面或地下爆炸的各种毁伤因素中，除了冲击波和放射性沾染较为突出外，形成的土石冲击波和强烈地运动，足以摧毁附近地面的坚固目标和距爆心 1.5～2 倍弹坑半径范围内的导弹发射井、洞库、地下指挥所等目标。地面或地下核爆炸的冲击波与光辐射对一般民用建筑和人员的杀伤破坏范围较相同威力的空中核爆炸为小，早期核辐射的杀伤破坏范围与空中核爆炸相近。地爆可造成爆区和云迹区的放射性沾染（参见*放射性沾染效应*），对居民会造成严重的危害，在战时可以迟滞部队的行动。

（撰写：乔登江　审订：吕　敏）

dimian paifang

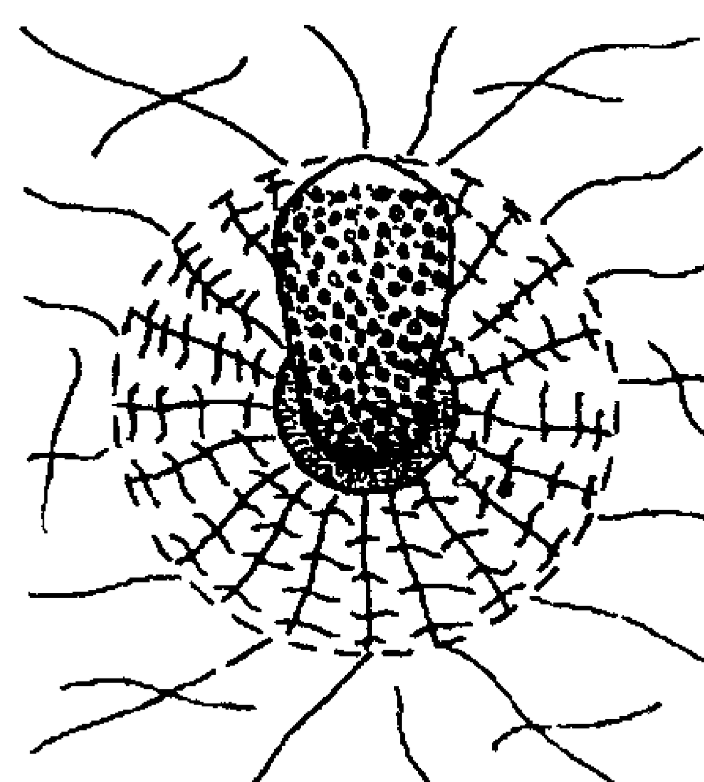
地面排放　surface emission, surface release, release from surface source　地面源排放。地面和高度较低的排放或污染物排出后受到烟囱口的下洗作用并落入附近建筑物或突出地物的扰动流场、发生下泄并卷入障碍物尾流混合区的排放。后者的污染物烟羽下风扩散行为及地面浓度与地面上的排放相近，因此当地面排放对待。当烟囱高度低于附近建筑物高度的 2～2.5 倍、出口速度与风速的比值又不大的时候污染物就有较大可能进入尾流区。反之，排出的污染物可依靠动量抬升避免烟囱下洗并克服建筑物下泄作用，其烟羽扩散和高架排放无异。地面源在近距离处可产生很高地面浓度，在环境影响评价和安全分析中是否要把一个烟囱当作地面排放或如何估定其烟羽有效高度是一个对分析结论很敏感的问题。因为扰动流场与烟羽的下泄性状随风速风向、建筑物形状和高度、宽度及烟囱与建筑物的配置而不同，要普遍而又确切地处理这种实际问题尚有困难。历史上曾根据各种类型的风洞试验结果提出过多种判别计算方案。我国核电厂安全导则 HAF0103 参照国际原子能机构的推荐规定：烟囱或排放口高度低于周围建筑物高度的 2～2.5 倍而且出口速度小于风速的时候为地面排放；出口速度达到风速的 5 倍以上视为高架排放；两种情况之间则由出口速度与风速的比值分别计算按地面排放和高架排放处理的时间份额（参见*高架排放*）。

（撰写：陈家宜　审订：蔡旭晖）

dixia hebaozha

地下核爆炸　underground nuclear explosion　地面以下一定深度的核爆炸。根据爆炸深度可分为浅层地下核爆炸和封闭式地下核爆炸。当爆炸深度较浅时，火球冲出地面，其外观景象与触地核爆炸相似，有大量土石抛出地面形成发散状尘柱，并造成比地面核爆炸尺寸更大的弹坑（参见*核爆炸成坑效应*）。

浅层地下核爆炸可通过核地雷和核钻地弹来实现，主要以极强的岩土冲击波和震动摧毁地下深层的硬目标，并造成严重放射性沾染，其他毁伤效应与地面核爆炸相近。弹坑尺寸最初随爆炸深度逐渐增大，达一定深度后，弹坑尺寸反而减小，进而不再生成弹坑。大量放射性封闭于地下，成为封闭式地下核爆炸，是核武器试验的一种重要方式。核爆炸所产生的高温高压等离子体，在膨胀过程中压缩周围岩石介质，使部分介质气化、液化，形成空腔，并在周围岩石中产生冲击波。冲击波强度约 2×10^8 kPa 时，岩石被气化，形成气化区；冲击波强度约 5×10^7 kPa 时，岩石被液化，形成液化区。冲击波向外传播过程中，使周围岩石中产生压实区、压碎区、破裂区、塑性变形区，尔后衰减成弹性波（地震波）向远处传播。地震波信号是核爆炸核查的主要依据之一。随着冲击波向外传播，当空腔压力与围岩静压平衡时，空腔停止膨胀，空腔半径与核爆炸威力和岩石介质的性质有关。当空腔中压力随着气体的冷却而下降后，空腔上方的岩石坍塌而形成烟囱，烟囱直径略大于空腔直径，高度决定于岩石的性质，在冲击土等软岩石介质中，烟囱可以发展到地面，形成塌陷坑。地下核爆炸后空腔、烟囱以及附近岩石状况如图所示。



地下核爆炸产生的空腔和烟囱

图出处：国防科学技术工业委员会科学技术部.中国军事百科全书.核武器分册.北京：军事科学出版社，1990.106

（撰写：乔登江　审订：吕　敏）

dixia hebaozha quyang jishu

地下核爆炸取样技术　sampling technology of underground nuclear explosion　地下核试验中获取放射化学分析用的样品所采用的技术。地下核爆炸过程中形成直径数十米的空腔，爆炸产物与数米厚的爆室壁岩石在高温高压下熔融、气化。随着温度和压力下降，气化了的物质逐步冷凝形成放射性玻璃体，沉积在空腔底部，形成“锅底”，并被空腔倒塌时的碎石所混杂和掩埋，上部形成空腔碎石区和烟囱。地下取样分固体取样和气体取样两种：(1) 固体取样。竖井试验中的固体取样，在爆心上方地面投影点的周围一定距离上，设置具有定向钻具的钻机，向下钻探，避开烟囱及空腔碎石区，斜插穿透“锅底”获取玻璃体样品；平硐试验中在坑道内架设钻机水平钻取，同样钻透“锅底”，获取玻璃体样品。(2) 气体取样。在爆炸之前设置特种钢丝绳，其外表用橡胶包敷、内部有几厘米孔径的通气管路，前端配接陶瓷管。在竖井试验中，前端埋入爆心上方数十米处（爆炸后形成的烟囱区）；平硐试验中，前端放入爆室外回填空段内。后端连接气体取样容器，爆前预抽真空，爆炸时裂变气体或聚变反应气体产物与爆室中的空气混合，通过钢丝绳进入取样容器。

（撰写：陈　达　审订：吕　敏）

dixia heshiyan

地下核试验　underground nuclear test　核装置埋在地下一定深度进行的核试验。地下核试验包括竖井核试验和平洞核试验两种方式。为了将核爆炸产生的放射性封闭在地下，通常采用较大的埋深，比例埋深（即埋深与威力的 1/3 次方的比例）大于 120 m /$(kt)^{1/3}$，实施全封闭式爆炸，避免试验场地的沾染。地下试验可以安装多根对准核装置的管道，便于安排近区的实时物理测量，对研究核武器原理、诊断核爆炸

的物理过程十分有利，核国家后期全部采用地下方式进行核试验。在地下试验中还可以架设真空管道以模拟高空条件，进行高空核爆效应研究。采用地下核爆炸有利于减少对环境的影响。地下爆炸后不形成烟云，有利于保密。地下核试验的缺点是工程量大，周期长，较难进行百万吨级的大威力核试验，并且不能进行爆炸破坏效应的研究。

（撰写：吕 敏 审订：乔登江）

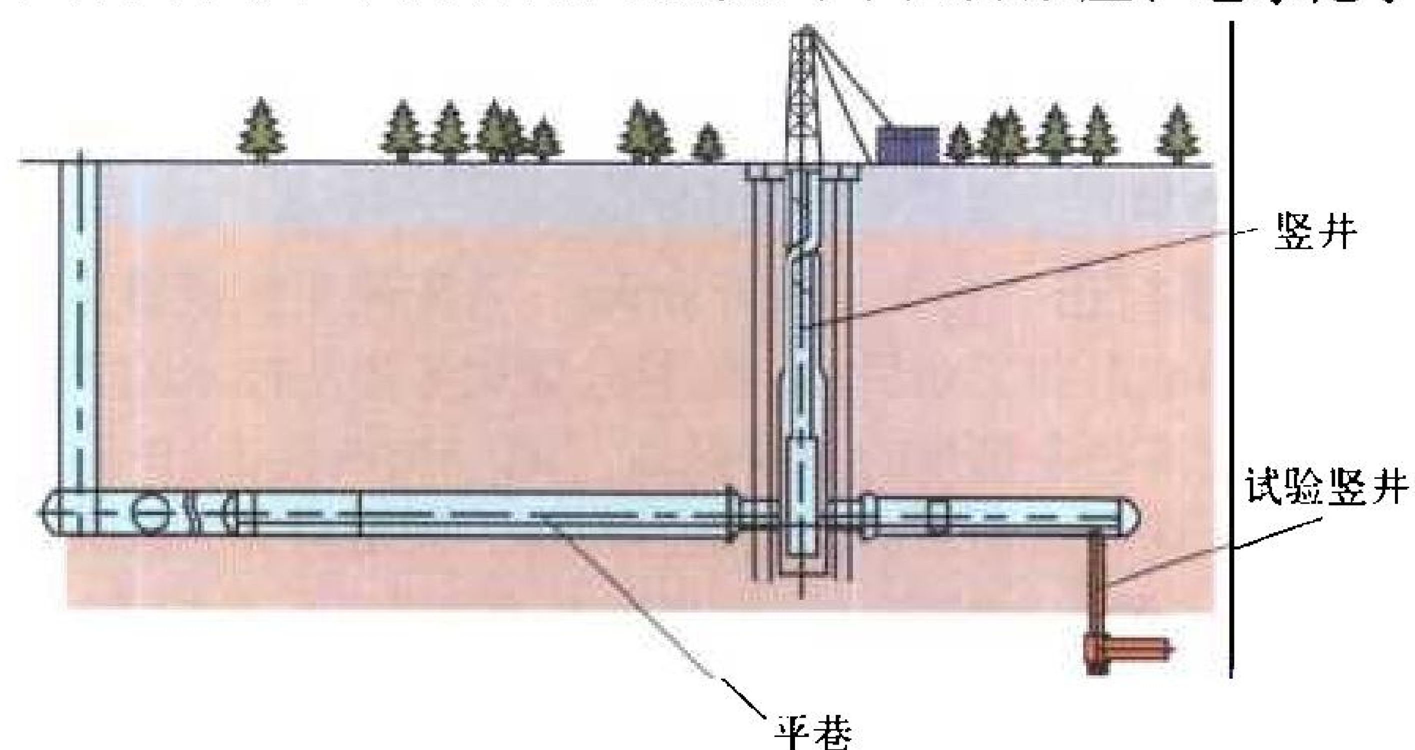
dixia heshiyan de anquan wenti

地下核试验的安全问题 safety problems of underground nuclear test 地下核爆炸引起的环境危害及其防护问题。在确定地下核试验场时，要选择硅酸盐介质，不允许过多的碳酸盐成分，以免产生大量的爆炸气体，将放射性物质带入大气。应该选择足够的埋深，实施封闭式的地下核爆炸，使绝大部分放射性物质都封闭在地下，以保证试验场内外的安全。爆心周围不允许有较大的地质断层，地下水的流向不能危及居民。在制定回填、堵塞方案时要谨慎、仔细，以保证不会有大量的放射性物质通过井筒或者坑道泄漏，甚至冒顶（竖井）或放枪（平洞试验时大量爆炸产物与堵塞物质同时冲出）。对于较大威力的地下核试验，还要考虑爆炸引起的地运动对试验场区及周围地区建筑和设备造成的破坏。

（撰写：吕 敏 审订：乔登江）

dixia shiyanshi

地下实验室 underground research laboratory (URL) 为高水平放射性废物最终处置进行前期研究和验证而建造于地面之下的设施。少数地下实验室也可能用于未来的实际废物处置。据不完全统计，目前世界上已建成17个地下实验室，其深度一般在地下200 m到近千米。地下实验室主要建造于花岗岩、玄武岩、凝灰岩、岩盐和黏土层之中，主要从事热力学、岩石力学、水文地质、构造力学、应力效应、地球化学、



比利时莫尔地下实验室示意图

材料腐蚀、核素迁移等方面的研究，处置技术（挖掘、回填、封闭等）可行性验证以及数学模式的开发与验证等工作。地下实验室一般由竖井、平巷、侧巷和实验井（洞）组成。图为位于比利时莫尔的地下实验室示意图。

（撰写：刘春立 审订：王志明）

diya guanli

地压管理 ground control 研究地下空间（井巷、洞室、采场）围岩的应力状态、变形、移动和破坏的规律，掌握这些规律去控制地压显现的强度，减少地压危害的工作。地下各种空间围岩地压弦线强度与空间位置、深度、几何形状及尺寸等密切相关。地压弦线给采掘带来巨大危害，克服地压危害对发展采矿工业有着重要意义。铀矿山是通过地压现场调查、裂缝调查、仪器观测围岩的相对位移、红外线探测浮石、激光探测围岩的微小变化以及用测压仪器测量围岩和支架压力、用声测法或弹性波判别岩体的完整性和破坏程度、用光弹性应力计测量岩体应力变化，找出围岩变形、移动和破坏的规律，制定维护井巷、洞室和采场的稳定措施进行地压管理，以确保井下采掘作业的安全。

（撰写：陈景良 审订：李开文）

dizhen jiance xitong

地震监测系统 earthquake monitoring system 测量和记录地震时地面运动和重要的大型构筑物及设备（如核电厂抗震Ⅰ类构筑物、设备及管道等）的地震响应运动的仪表和系统。地震工程中通常以加速度（与惯性力有关）、速度（与地震能量有关）、位移（与变形有关）和地震响应谱来衡量地震的强弱和对结构的破坏潜势。地震监测一般以加速度测量为主，而速度、位移和响应谱则由加速度时程通过计算求得。地震监测系统通常由加速度计（有时还配有位移计）、地震触发器、信号放大器、记录仪、峰值加速度仪、响应谱记录仪以及地震开关等组成。地震触发器用于当地面或构筑物及设备的运动加速度超过预置的加速度值时启动加速度时程记录仪开始记录，而地震开关则用于加速度值超过某个规定值时通过报警装置（如指示灯等）发出警报。 （撰写：郭建虎 审订：李天勇）

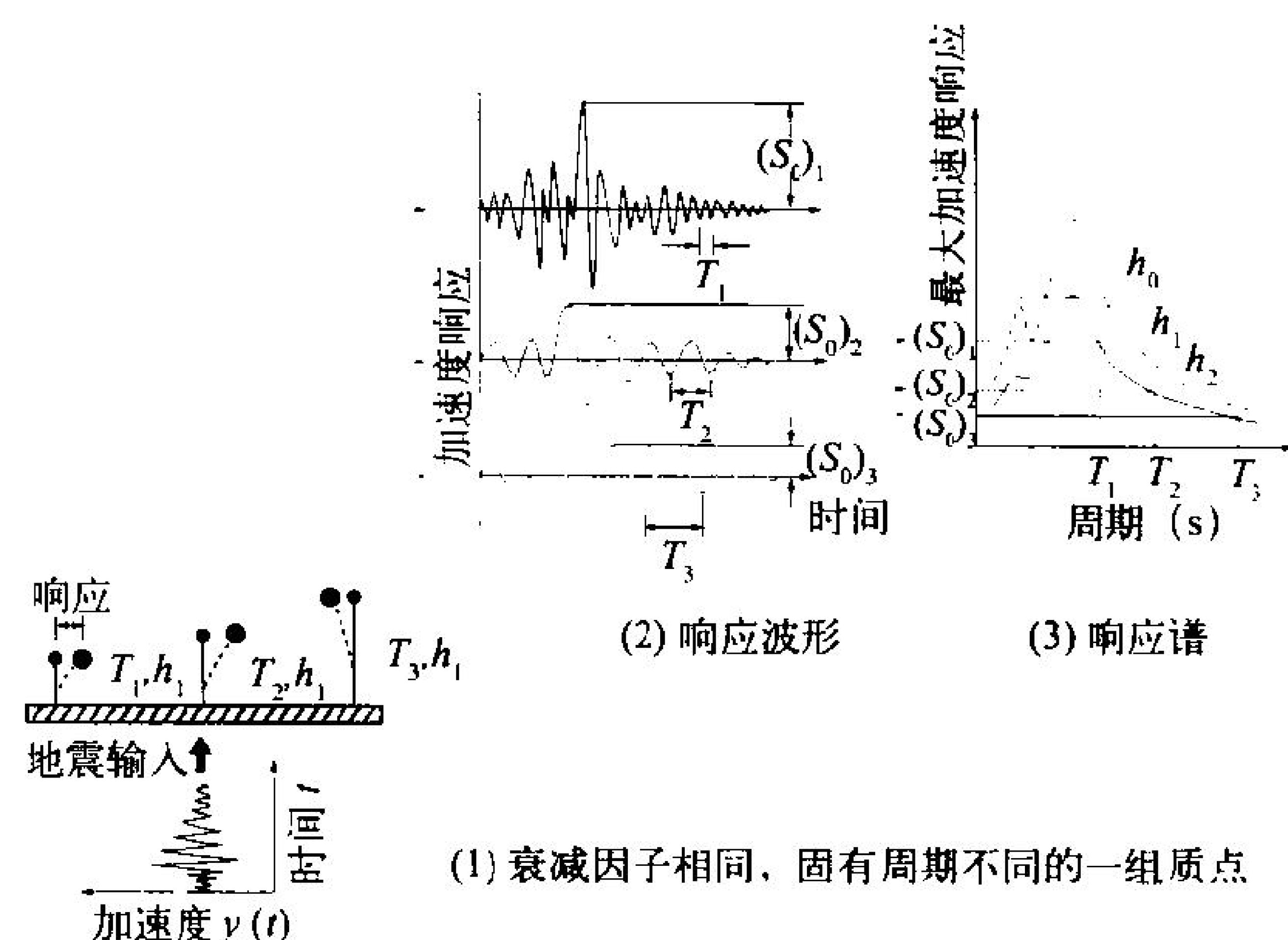
dizhen xiangying fenxi

地震响应分析 analysis of structural response to seismic excitation 对于结构物在地震作用下的动力响应的计算分析。经常用于结构地震响应分析的方法有：等效静力法、响应谱法和时间历程法（简称“时程法”）。目前，核电厂结构和设备的地震分析大多采用响应谱法和时程法，只有少数简单设备采用等效静力法。核电厂与安全有关的结构、系统和部件，需考虑“运行安全地震”和“极限安全地震”两类地震作用（参见运行安全地震和极限安全地震），地震运动的三个正交分量（两个水平方向，一个竖直方向）应同时输入。考虑土壤与其上部结构的相互作用十分重要。对于核电厂结构，只有当基土的剪切波速大于1100 m/s 时才可以不考虑这种相互作用。

（撰写：黄经绍 审订：张忠岳）

dizhen xiangyingpu

地震响应谱 earthquake response spectrum 具有不同频率和一定阻尼的单自由度振子在地震地面运动作用下的最大响应对应于振子自振频率（或周期）的关系曲线（见图）。图示为



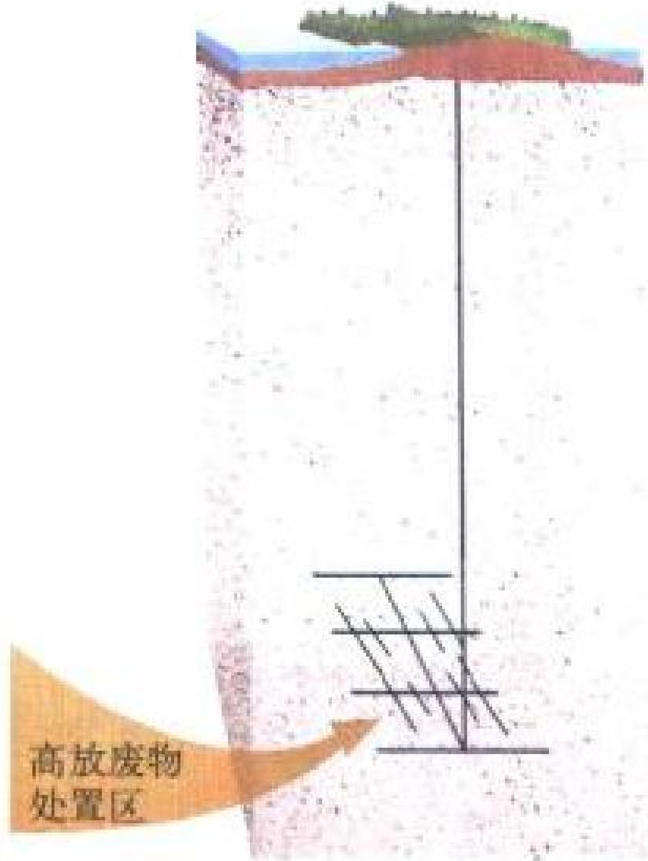
地震响应谱示意图

三个具有不同自振频率的单自由度振子对地面加速度的响应过程以及根据响应过程所确定的响应谱。图中显示的是加速度响应，实际上，响应也可以是位移或速度。实际地震的响应谱和抗震设计响应谱是两个不同的概念。前者是根据实际地震记录(图中所示为地面加速度记录)而得到的，后者则是对结构在其使用期间可能经受的地震作用的预测。

（撰写：黄经绍　审订：张忠岳）

dizhi chuzhi

地质处置　geological disposal　在深度几百米的稳定地层中，采用工程屏障和天然屏障相结合的多重屏障隔离体系将高放废物和α废物与人类生活圈长期安全隔离的处置方式(见图)。乏燃料后处理厂和混合氧化物燃料元件厂产生的高放废物和α废物，因为有极长的半衰期和极高的生物毒性，要求同生物圈隔离数十万年以上。研究认为，工程屏障至少要满足安全包容放射性核素千年的要求，地质屏障要求能够满足包容放射性核素十万年以上。因此地质处置必须选在稳定的深地层中。为了确保长期安全性，科学家们已开展了许多实验室研究。一些国家还建立了地下实验室，进行现场验证和模拟试验。此外，还进行着不少自然类比研究。至今，已经开发了不少数学模型，用来预测放射性核素的近场迁移、远场迁移和食物链转移。



高放废物地质处置示意图

（撰写：罗上庚　审订：范显华）

di'erci hedaji

第二次核打击　second nuclear strike　对敌方核袭击的报复性核反击。“第二次核打击”概念在20世纪50年代初首次出现在美国兰德公司研究美国战略空军基地问题的著作中。作者们通过对未来武器系统能力的分析，设想必须拥有即使在遭到“突然袭击后也仍然能够实施有效回击的战略力量”。这种思想开始并未引起美国政府的注意，只是在20世纪60年代初苏联建立了导弹核力量，且防御实力明显加强后，“第二次核打击”才为美国政府接受和宣布。美国认为战略核力量必须时刻拥有卓有成效的“第二次核打击”能力，在遭到核袭击后不但能将战略力量的一部分或大部分保存下来，而且还能够用保存下来的力量组织坚决地还击，以摧毁进攻的一方。在“第二次核打击”中，美国主张战略力量的所有剩余部分都应参加，以保证在被动的情况下迅速夺回主动权。

（撰写：段占元　修订：叶名兰　审订：唐西生）

di'erdai hewuqi

第二代核武器　second-generation nuclear weapon　小型化氢弹和特殊性能核武器。继研制原子弹和早期氢弹之后，核武器发展的第二阶段是研制与远程发射工具相结合的、威力适中的小型化氢弹和毁伤效应可调节的特殊性能核武器。经过不断研究、试验，第二代氢弹的比威力、生存能力、安全性、保安性、突防能力等都有很大提高。特殊性能核武器是将核武器的杀伤破坏效应根据作战需要加以增强或减弱。已经研制成功的特殊性能核武器有中子弹，弱剩余放射性弹、感生放射性弹和增强X射线弹。

（撰写：郑绍唐　审订：竺家亨）

di'er tingdui xitong

第二停堆系统　second reactor trip system　作为反应堆停堆常设系统(第一停堆系统)的后备和补充的另一套停闭反应堆的系统。当反应堆常设停堆系统失效时，它应能可靠地控制反应性的变化，抑制反应堆的功率，保证燃料元件的参数不超过安全限值。该系统还应在氙毒物耗尽的冷态下使堆芯保持在次临界状态，以补充反应堆常设停堆系统可控反应性的不足。两套停堆系统在设计上应有所不同，第一停堆系统一般用插入控制棒来快速引入负反应性；第二停堆系统则可用向堆芯注入硼溶液(轻水堆)、排出反射层内部分慢化剂(重水堆)或不同设计的控制棒(快中子反应堆)来引入负反应性。第二停堆系统的控制应独立于第一停堆系统。其设计要求可靠，但不一定采用安全级部件，也不一定要求快速停堆。

（撰写：俞尔俊　审订：陈叔平）

di sandai hewuqi

第三代核武器　third-generation nuclear weapon　核爆炸驱动的定向能武器。核武器威力虽大，但能量向四面八方均匀发射。一种新的设想是借助于某种转换器使能量集中在一个小的立体角内，从而使作战距离从几千米扩展到几千千米。曾经研究过或者还在研究的这类武器有核爆激励X射线激光器，核爆激励γ射线激光器和核爆激励高功率微波武器(即核电磁脉冲弹)等。这种武器的特点是不直接以核爆效应作为毁伤因素，而是用核爆炸释放的某种形式的能量作为驱动源，通过转换器转换成某种定向能。第三代核武器是核武器分别与高功率激光器、高功率微波发生器相结合的产物。定向能武器由于在特定方向上集中了高强度的能量，对远距离的目标有极大的破坏力，但由于技术难度很大，均处在科学可能性研究阶段。

（撰写：郑绍唐　审订：竺家亨）

diyici hedaji

第一次核打击　first nuclear strike　首先使用核武器突然袭击敌人的城市和工业目标。随着分导式多弹头技术的发展和导弹核武器命中精度的不断提高，“第一次核打击”的对象逐渐变成了具有重要军事作用的点目标，如发射井、核武库等(见图)。“第一次核打击”的概念是美国在20世纪50年代前后提出并发展起来的，最初针对苏联，它曾设想在美国认为最有利的时机对苏联的主要城市和工业中心实施“第一次核打击”，进行政治讹诈。当苏联建立了导弹核力量之后，美


美国MX导弹弹头

国就开始把重点放在"第二次核打击"概念上，但此时仍继续进行"第一次核打击"的准备。20世纪60年代，"第一次核打击"的概念又有所发展，美国军事领导人把"第一次核打击"的概念从口头支持变为预定的落实行动，并编入军队的正式文件中。在这期间，美国直截了当地表明：在进行全面战争的计划时，首先应考虑实施"第一次核打击"和"第二次核打击"作战的需要。但随着苏联核打击报复能力的提高，要实施"第一次核打击"就要建立比敌人强大得多的各种战略力量，由此美国认识到，指望从战略上实施"第一次核打击"并取得胜利的可能性很小。同时这一概念具有明显的进攻性质，战略上也行不通，因此"第一次核打击"的概念很快就由"第二次核打击"的概念替代。

（撰写：段占元　修订：叶名兰　审订：唐西生）

diyidai hewuqi

第一代核武器　first-generation nuclear weapon　原子弹和早期氢弹。在核武器发展的早期阶段，主要任务是突破原子弹与氢弹的设计原理，掌握制造技术。当时热衷于制造高威力氢弹，但受科学技术水平的限制，做得又大又重，只能用重型轰炸机运载，一架飞机装一个。

（撰写：郑绍唐　审订：竺家亨）

dihuage bandaoti tanceqi

碲化镉半导体探测器　semiconductor CdTe detector　用探测器级的 CdTe 单晶制成的探测器。CdTe 晶体的禁带宽度为 1.4 eV，原子序数为 48、52 和电子—空穴对产生能为 4.43 eV，CdTe 探测器可以在室温下工作，对 γ 射线有较高的探测效率和较高的能量分辨率。但是，由于它较低的载流子寿命（τ^+）和迁移率（μ），以及较难的晶体生长技术，所以较大灵敏体积的 CdTe 探测器始终难有大的突破。CdTe 探测器作为便携式仪器可用于环境和现场监测，教学和核医学领域。

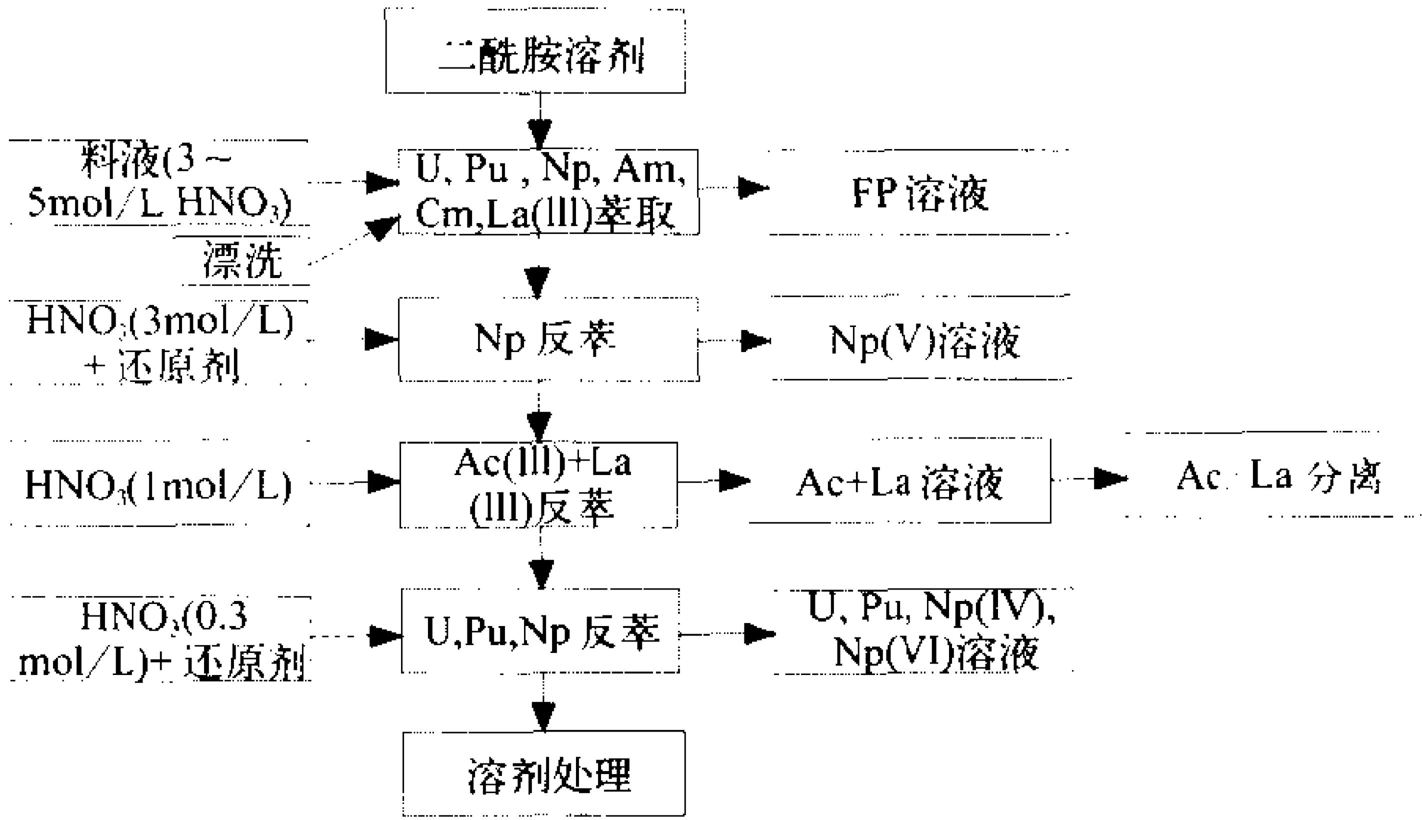
（撰写：吴绍云　审订：王征华）

dixinge bandaoti tanceqi

碲锌镉半导体探测器　semiconductor $Cd_{1-x}Zn_xTe$ detector　由于 $Cd_{1-x}Zn_xTe$ (CZT) 半导体具有远比二元化合物（CdTe，GaAs 和 HgI_2）高的载流子寿命（τ^+）和迁移率（μ），近几年来，CZT 探测器得到了较快的发展和应用。CZT 晶体有：48.5 的平均原子序数，1.5～2.2 eV 的禁带宽度，4.5 eV 的电子—空穴对产生能和高达 10^{-3} cm²/V（电子的 $\mu_e\tau_e^+$ 值）和 10^{-4} cm²/V（空穴的 $\mu_h\tau_h^+$ 值），因此，决定了 CZT 可以制成比现有二元化合物半导体探测器体积更大和分辨率更好的探测器。位置灵敏 CZT 室温 γ 射线探测器的发展，使其在核医学中有巨大的应用前景。（撰写：吴绍云　审订：王征华）

DIAMEX liucheng

DIAMEX流程　DIAMEX process　一种从高放废液分离锕系元素的溶剂萃取流程，由法国封特耐欧罗兹核研究中心研究提出。它用二酰胺类化合物特别是 1，3－丙二酰胺萃取分离包括三价镅、锔在内的锕系元素流程（见图）。用 0.5 mol/L DMDBTDMA（二甲基二丁基十四烷基丙二酰胺）–TPH（氢化四丙烯）作为萃取剂，用真实高放废液进行热实验表明对锕系元素的萃取率＞99%。该流程的特点是：(1) 在高放废液酸度下，可以直接萃取锕系元素，无须调节酸度；(2) 萃取剂只含碳、氢、氧、氮，废萃取剂可以完全焚烧掉，不产生二次废物。该流程的不足之处是：(1) 没有涉及锝和锝，认为它们已在普雷克斯流程中除去；(2) 萃取容量低，易形成第三有机相，为此要将萃取剂浓度提高到 0.65 mol/L 以上，方可避免三相形成。



DIAMEX 流程示意图

（撰写：焦荣洲　审订：林漳基）

diandui moxing

点堆模型　point reactor model　在反应堆动态学研究中近似地认为反应堆内各处的中子密度具有相同时间变化规律的模型。在这种模型下，反应堆的动态特性可以用一个点来代表，忽略了时间过程中堆内各处中子分布会发生的相对变化。考虑缓发中子的点堆动态方程一般表示为

$$\frac{dN}{dt}=\frac{\rho-\beta}{\Lambda}N(t)+\sum_{i=1}^{I}\lambda_i C_i(t)+s$$

$$\frac{dC_i}{dt}=\frac{\beta_i}{\Lambda}N(t)+\lambda_i C_i(t)$$

式中 $N(t)$ 为堆内中子密度，C_i 为第 i 组缓发中子先驱核浓度，β_i 为第 i 组缓发中子的份额，$\beta=\sum_{i=1}^{I}\beta_i$ 为缓发中子所占裂变中子数的总份额，λ_i 为第 i 组缓发中子先驱核的衰变常数，Λ 为一代中子的平均产生时间，$\rho=(k-1)/k$ 为堆的反应性，k 为有效中子增殖因子，s 为中子源强度。当瞬变过程中中子注量率的空间分布发生显著改变时，点堆动态方程是不适用的，需要求解空间—时间相关的中子动态方程。

（撰写：薛小刚　审订：史永谦　许汉铭）

dian fushe yuan

点[辐射]源　point source [of radiation]　线度远小于测量距离的辐射源。当一个辐射源的尺度与源和探测器间的距离相比很小，以至于源上不同位置对探测器灵敏区所张立体角的差异，在探测器的测量精度范围内可以忽略不计时，该辐射源即可视为一个点源。由于点源可以较容易地按几何条件计算出它对探测器或受照物体所张立体角，且在无反射和吸收的情况下产生的辐射场符合反平方律，故常用来进行辐射仪表的刻度。例如按点源产生的辐射场刻度辐射巡测仪或剂量仪；或用移动的点源模拟面源或气体源，用以刻度大面积表面污染仪或放射性气体监测仪。在更复杂的情况下，例如为了求出探测器对非均匀分布的体源的效率，或为了重建非均匀辐射源的分布图像，可以借助于移动的点源建立积分方程的核函数；在测量成像探测器的空间分辨率时，也常使用点辐射源；但在这几种应用中，点源的尺寸需视实际情况给予更严格的要求。

（撰写：胡遵素　审订：潘自强）

dian biaoji

碘标记 iodine labelling 将放射性碘原子引入化合物分子中形成放射性碘标记化合物的制备过程。碘标记的一般程序是：用某种氧化剂首先将放射性碘原料 $Na^{*}I$ ($^{*}I$ 代表放射性碘)中的碘负离子 ($^{*}I^{-}$) 氧化成活性碘 ($^{*}I_2$,$^{*}I^{+}$)。在一定介质条件下，通过同位素交换、亲电或亲核碘的加成反应制得放射性碘标记化合物。根据所用氧化剂的不同，放射性碘标记方法分为氯胺 T (Ch–T) 法、乳过氧化物酶 (LPO) 法、氯甘脲 (Iodogen) 法等。标记方法的选择通常根据被标记分子的结构或生化性质来决定，对那些生物活性易于受损的物质，应选择较温和的氧化剂。在一些特定的情况下，可采用连接标记 (Bolton–Hunter 法)，对化合物分子内不含酪氨酸的某些物质，如多肽、激素、半抗原、或酪氨酸残基未暴露的蛋白质、酶类，实行碘标记。

（撰写：卢玉楷　审订：吕延晓）

D

dianhuagong hefushe tanceqi

碘化汞核辐射探测器 HgI_2 nuclear radiation detector 由 HgI_2材料制成的无结器件，叫做匀质体电导型核辐射半导体探测器。它禁带宽度大 ($E_g \approx 2.1 eV$)，体暗电阻率大于 $10^{13}\Omega\cdot cm$，在晶体相对的两个平行平面上制备低阻欧姆接触电极，形成固体电离室。入射粒子在电离室晶体内耗损能量电离（激发）产生电子—空穴对使晶体具有导电性。现在已能获得均匀性好、陷阱复合中心少的高阻 HgI_2 单晶，加上高至 $10^4 V/cm$ 的电场不击穿，仍保持着极小的漏电流，原子序数高 (Z 为 80，53)，对 γ 射线有足够高的探测效率，引起人们极大兴趣的是它可构成在室温下工作的 X、γ 射线谱仪。它对 ^{55}Fe 的 5.9 keV 的 X 射线，工作在 295 K（室温），采用脉冲光反馈前放，成形时间18 μs，工作电压200 V，FWHM为295eV；工作在 −1℃，工作电压 400 V， FWHM 为 200 eV。探测器灵敏体积为 $4 mm^2 \times 0.4 mm$。

（撰写：丁洪林　审订：李广将）

diankeng

碘坑 iodine well 长时间运行的反应堆停堆或降功率后，由于堆内积累足够多的 ^{135}I，以致 ^{135}Xe 浓度会先增加到最大值，然后再逐渐减小，相应地，反应堆的反应性会先减小到最小值，然后再逐渐增大，这种与 ^{135}I 衰变生成 ^{135}Xe 的消长相关的现象称为碘坑。从停堆时刻开始直到后备反应性又回到停堆时刻的值所经历的时间称为碘坑时间。停堆后反应堆后备反应性下降到最小值的程度称为碘坑深度。碘坑的深度与反应堆内中子注量率有关。中子注量率越高，碘坑就越大越深。反应堆设计时必须考虑这一因素。在碘坑初期，后备反应性还大于零，反应堆能够靠提升控制棒启动，这段时间称为允许停堆时间。倘若随着碘坑加深后备反应性小于或等于零，则反应堆无法重新启动，这段时间称为强迫停堆时间，这时只能等待爬出碘坑后才能再启动。特别是当反应堆寿命接近末期，由于燃料消耗，备用的后备反应性已经很小时，更难避免碘坑造成的强迫停堆。

（撰写：奚树人　审订：单文志　许汉铭）

dian yufang

碘预防 iodine prophylaxis 应急和紧急防护行动之一。通过服用稳定碘以减少为甲状腺吸收的经吸入和食入进入体内的放射性碘。为了有效地减少甲状腺剂量，在摄入放射性碘以前就应服用稳定碘；否则在任何情况下都应在摄入放射性碘后尽快实施这一措施。如果在摄入放射性碘以前 6 h 内口服稳定碘，所提供的保护几乎是完全的；如果在摄入放射性碘的同时服用稳定碘，防护效率约 90%。措施的有效性随措施的拖延而降低，但在摄入放射性碘数小时内服用稳定碘，甲状腺吸收的放射性碘仍可降低一半左右，但若摄入放射性碘后 12 h 甚至更长才服用稳定碘，则对剂量减小几乎不起什么作用。对成年人，服用稳定碘的推荐量为 100 mg 碘（相当于 130 mg 碘化钾或 170 mg 碘酸钾）。对儿童和婴儿则推荐较小的量。食入稳定碘所产生的副作用或危险一般很小。

（撰写：施仲齐　审订：陈竹舟）

dianzhi

碘值 iodine value 溶剂萃取稀释剂中不饱和碳氢化合物含量的量度。通常以每 100 g 稀释剂所吸收的碘的克数来表示。

（撰写：张琴芬　审订：朱永賭）

dianchang zhuangtai de kongzhi

电厂状态的控制 plant status control 通过严格的管理规程和技术措施，使运行人员明白无误地掌握核电装置、系统和设备的现状并对其状态的改变予以有效地监督和控制，使它们的状态符合运行技术规格书所规定的运行限值和条件。核电厂严格推行运行监盘制度、操作监护制度、系统停运和投运制度、维修活动工作票制度，此外，还采取一些特殊管理措施，加强对核电装置、系统和设备运行状态的控制，典型的这类措施有：(1) 对安全相关系统的若干阀门和电源开关实施“行政性隔离”。这些部件如不预先固定在正确位置，会引起在事故发生后安全系统不能正确投入运转，或者在反应堆运行模式改变时安全系统误动作。必须通过严格行政手续使它们处于“锁通”或“锁断”位置。(2) 设置“动态控制点”和“静态控制点”有效地监控反应堆的特定运行模式。在反应堆换料、停堆维修或自动紧急停堆后重返临界时由反应堆操纵员按“动态控制点检查单”逐项核实，并经值长验证和签名，确认满足所有前提条件后，方可进行运行模式的过渡。反应堆停留在换料和冷却剂系统排水维修的模式下，每隔 8 h，也即每一运行值要按“静态控制点检查单”校核与反应性控制、堆芯冷却和辐射屏蔽有关的条件和参数。(3) 安全相关系统可用性的监督和处理。运行值严密监视安全相关系统的可用性，一旦发现不可用，立即启动纠正行动使其恢复可用，否则必须在运行技术规格书规定的期限内，将反应堆过渡到具有最佳安全裕度的后备状态。

（撰写：柯国柱　审订：钱锦辉）

dianci fenlifa

电磁分离法 electromagnetic separation process 在磁场中运动的质量不同的离子由于旋转半径不同而被分离的方法。最早大规模用电磁分离法分离的同位素是铀同位素。美国于 20 世纪 40 年代曾经用电磁分离法获得了高浓铀。电磁分离法以其通用性极强为特点，几乎可以分离所有的同位素。在离心分离法和激光分离法之前，电磁分离法是获得稳定同位素的最主要的方法。电磁分离法的问题在于生产率低，能耗大。至今，仍然有相当部分的同位素由电磁分离法提供。利用电磁分离原理可以制成质谱仪，作为分析同位素组成用。为了提高分辨率，质谱仪可以做成串级形式。

（撰写：应纯同　审订：刘广钧）

dianci fushe fanghu biaozhun

电磁辐射防护标准 standards for electromagnetic radiation protection 指为保护环境和人员健康，审管部门基于科学和管理为人为电磁辐射源对环境的影响规定的一组限值。它是一种安全标准，不同于电磁辐射设备的产品标准。电磁辐射防护标准的制定既要考虑电磁辐射对人体产生的效应，还要考虑社会条件和经济因素，即电磁辐射防护标准既要确保人员健康，又要切实可行。历史上，由于对电磁辐射生物学效应认识上的不同，东西方电磁辐射防护标准曾出现巨大差异。自从国际非电离辐射委员会开始推荐标准以来，各国的标准趋向接近，差别在缩小。我国的电磁辐射防护标准《电磁辐射防护规定（GB 8702 — 88）》，是参照国际非电离辐射防护委员会的推荐，结合国情制定的。该标准给出了以人体吸收的电磁能限值为基准的基本标准，和以电场强度、磁场强度等可测场量为基准的次级标准。随着对电磁辐射生物学效应研究的深入，认识的统一，以及环境电磁辐射水平的变化，电磁辐射防护标准亦会得到相应修订。我国已在跟踪国际上对电磁辐射防护标准的研究。（撰写：赵亚民 审订：潘自强）

dianci ganrao

电磁干扰 electromagnetic interference 电器设备、仪表受到来自其他电磁辐射源的影响，使之功能下降、甚至损坏的现象。电磁干扰包括汽车打火使附近建筑物内电子仪表读数的突变；热合机合闸使周围数百米内彩电无法收看；两个电台频率接近，使收音机收听质量不佳；机场附近移动通信台影响飞机收视起降信号等。对电磁干扰产生的有害作用要设法限制和消除。防治干扰的措施之一是对电磁频率资源加强管理，避免由于频率相近引起的干扰。对于精密的设备仪器，要采取屏蔽滤波、接地、隔离等办法防止干扰信号侵入。但电磁干扰也可以为人们所用，如发射干扰信号扰乱敌台广播。近代的电子战也是在使用电磁干扰技术。随着环境中电磁辐射水平的提高，电磁干扰问题会更加突出，今后有关对干扰现象的分析研究，防干扰措施、技术的开发，以及对干扰手段的利用等都会有所发展。

（撰写：赵亚民 审订：高攸纲）

dianci jianrong

电磁兼容 electromagnetic compatible 通过对电磁辐射频率资源的有效管理，开发和应用适宜的防电磁干扰技术，达到各电磁辐射设备之间，或电器设备相对电磁干扰源而言不受干扰正常运行的活动。资源管理包括对电磁辐射频率的分配。防干扰技术包括防止干扰信号的侵入，也包括提高自身对干扰信号的抗拒能力。对于广播、通信等信息传递中的兼容，除对频率实行管制外，对发射功率，台站距离等也应加以限制。对于电子计算机之类复杂的电子系统，它的电磁兼容问题需要个案分析，如研究周围环境中的干扰源的特性、干扰机制、有效的抑制办法和防范措施等。随着电磁辐射应用的日益广泛，电磁兼容问题会更加受到关注，不仅对已知干扰源要加以防范，对未知干扰源也要有足够的抵抗能力。

（撰写：赵亚民 审订：高攸纲）

dianci maichong

电磁脉冲 electromagnetic pulse 通常指持续时间短，但脉冲幅度很大的电磁现象，且往往具有一定的破坏作用。太空中星球爆炸会产生电磁脉冲。核爆炸也会产生电磁脉冲（NEMP），NEMP 电场强度可达 100 kV/m，影响范围达上千千米。高空核爆炸产生的电磁脉冲以近似平面波形式传播到地面，可以通过天线、通信电缆、电力线等金属体耦合到电器设备系统中，在其中感应产生大电流和高电压，也可直接耦合到电子设备的输入端，对其功能产生影响，甚至损毁电子设备。电磁脉冲是需要关注和研究的课题。

（撰写：赵亚民 审订：高攸纲）

dianci xianghu zuoyong

电磁相互作用 electromagnetic interaction 见基本相互作用。

dianhe jiaohuan fanying

电荷交换反应 charge exchange reaction 出射粒子与剩余核相当于入射粒子与靶核交换了电荷的直接反应。例如 (p,n) 和 (^{3}He, t) 反应就是代表性的电荷交换反应。核子间可以通过交换荷电介子而交换电荷，能起这种作用的核力是与同位旋有关的。通过同位旋有关核势而交换电荷的过程属于电荷交换反应过程。若入射核子被靶核俘获，由靶核另外发射一个电荷不同的核子，也可以发生电荷交换反应，这是由核子交换引起的电荷交换反应。可见，电荷交换反应可以用来研究核子 — 核子相互作用的同位旋有关项。同位旋相似态的激发也是一种重要的电荷交换反应，它可以看成是伴随着电荷交换的广义非弹性散射过程。

（撰写：申庆彪 审订：许谨诚）

dianhelingmin qianzhi fangdaqi

电荷灵敏前置放大器 charge sensitive preamplifier 紧靠探测器并与探测器构成一个整体的积分型放大器，由密勒积分器构成。输出电压幅度有很好的稳定性，能准确反映输入电荷的大小，基本上不受探测器极间电容、放大器开环时输入电容和电压增益等参数稳定性的影响，同时有较高的信噪比。根据工作机制的不同，可分为阻容反馈、光反馈和漏反馈等结构。目前，高分辨率核能谱测量系统中使用的几乎都是电荷灵敏前置放大器。（撰写：李 政 审订：席德明）

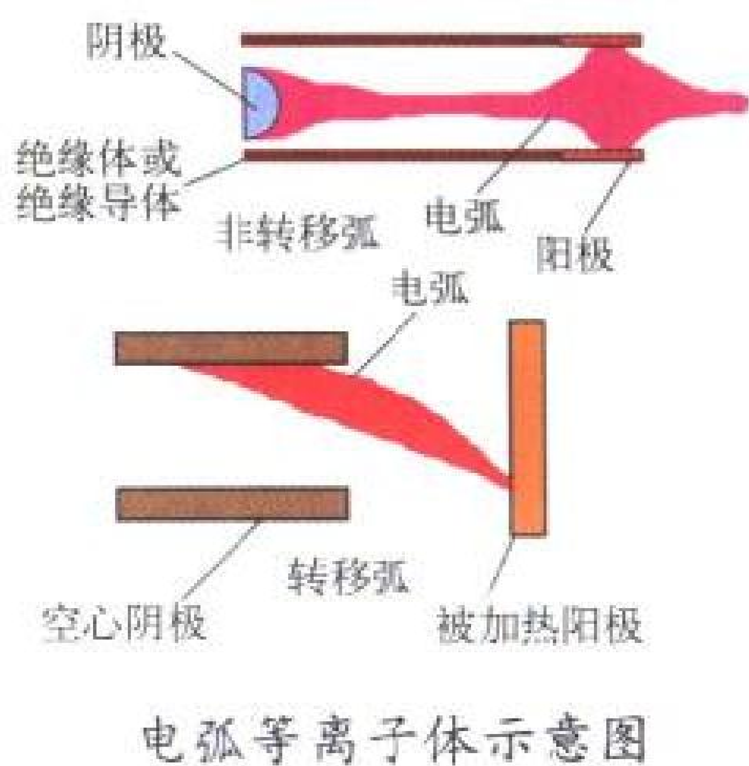
dianhe shuzi bianhuanqi

电荷—数字变换器 charge–digital converter (CDC) 将输入信号的电荷量进行数字化的电路。如输入信号为电流波形，则应首先将波形在一定的时间范围内积分，然后数字化。

（撰写：倪建平 审订：席德明）

dianhu dengliziti

电弧等离子体 arc plasma 由于阴极热电子发射或场致发射形成的等离子体。阴极亮斑上的发射电流密度可高达 500～10000 A · cm^{-2}，放电电流增加时电压反而下降。其电流高达 50～10000 A，电子密度达 (10^{22}～10^{25}) m^{-3}，这是局部热平衡，也称为热电弧放电。通常发出眩目的亮光（见图）。



电弧等离子体示意图

常用电弧是轴对称的，有壁稳、气稳电弧之

分。阴极负荷很大，是主要消耗部件。非转移弧是最常用的结构。把阳极转移到目标物上，如等离子体冶金的坩埚，其阴极可以水冷，消耗少、寿命长，称为转移弧。转移弧可以运行于数兆瓦高功率水平，连续工作上千小时。转移弧也可用预热等离子体激活的大面积发射热阴极，用于冶金连铸生产中的等离子体钢水包加热和温控。

（撰写：钱尚介　审订：黄　林）

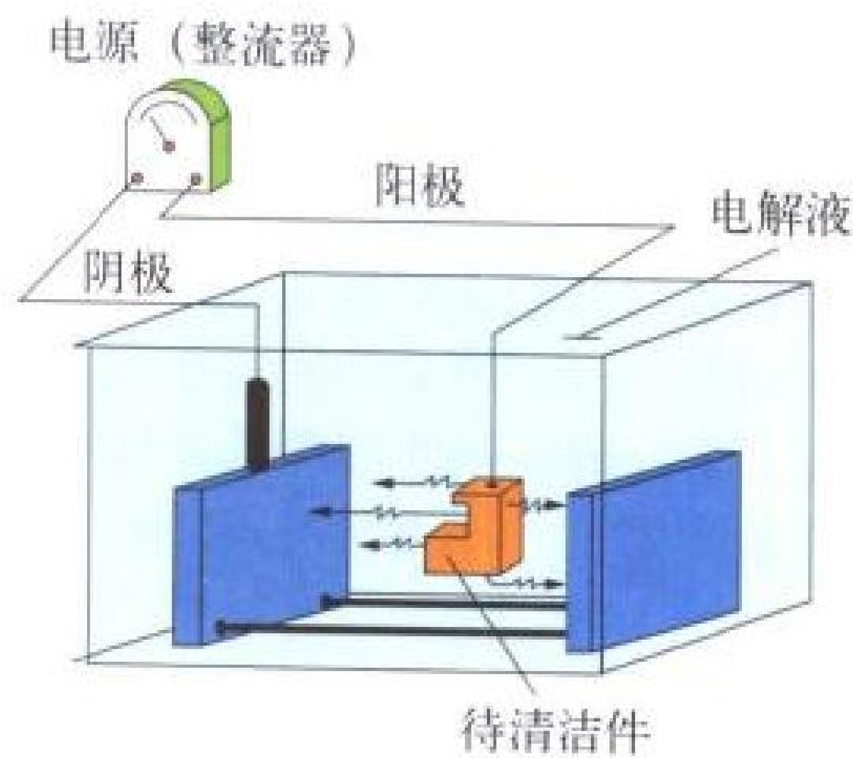
dianhuaxue fenli

电化学分离　electrochemical separation　根据带电粒子（离子和胶体粒子等）的电化学性质和行为进行分离的方法。它包括电化学置换（自发电沉积）、电解沉积和电泳等。电化学置换是一种离子自发地沉积在另一种金属电极上的过程。此法非常简单，但在分离几个元素时分离效率往往不高，而且只能沉积少数贵金属元素；在测定个别不活泼的放射性元素如Po时，是一种有效的分离方法。电解沉积是指电解液中的离子在外加电动势的作用下沉积在电极上，在放射化学分离上作为一种制源（靶）技术获得广泛的应用。电泳法是利用电场作用下电解质溶液中带电粒子向两极定向移动的电迁移，对带电粒子进行分离和鉴定。在放射性制剂的放射化学纯度鉴定中电泳法起着重要的作用。

（撰写：罗文宗　审订：崔安智）

dianhuaxue quwu

电化学去污　electrochemical decontamination　又称电抛光去污。通过电化学溶解原理，除去放射性污染的金属表面层，以实现去污的过程（见图）。电化学去污时将待去污的金属部



电化学去污示意图

件放在电解槽中作为阳极，当电流通过时，阳极材料的表面发生溶解过程，存在于表面上的放射性污染物和金属基体表面腐蚀层内的污染物都随溶解过程而被清除，并释放到电解液中。目前采用的电解液有磷酸体系、硝酸体系和有机酸体系。电化学去污的优点是能有效地对大面积或形状复杂的导电体部件，在不经切割或拆卸的情况下进行去污；经去污后的金属表面平滑，并被氧化保护膜覆盖，不易受到二次污染；操作时间短，费用低。其缺点是不能对非导电体去污，在对有非导电涂层（如油漆、环氧树脂）的金属材料进行电化学去污前，必须先清除该涂层。

（撰写：王显德　审订：孙东辉）

dianjie chenji

电解沉积　electrolytic deposition　电解液中的离子在外加电动势的作用下沉积在电极上的过程。虽然电解沉积法在放射化学分离上应用不多，但作为一种制源（靶）技术却获得了广泛的应用。利用此法制得的放射源，具有均匀、牢固和涂层薄等优点，适用于同位素分析、绝对测量、高分辨α能谱测定、裂变参数测量及核反应研究等。根据电解液性质的不同，电解沉积法制源有电解水解法和分子电镀法两种。电解水解法常用于锕系元素的制源。在电解过程中，金属元素的离子在阴极附近进行水解反应，金属氢氧化物在阴极上沉积出来。分子电镀法是在如异丙醇、乙醇—丙酮等有机溶剂中进行电解，元素以复杂的分子形式在阴极上沉积。分子电镀的优点是：它的电解液是有机介质，可避免气体的逸出，使镀层牢固和均匀；所用有机介质对电极材料腐蚀性小；一般在水溶液中电解时间需要1小时到几小时，而分子电镀所需时间要短得多（如20 min）。不过，分子电镀中经常使用几百伏的高压，而在一般电解沉积中外加电压几伏即可。

（撰写：罗文宗　审订：崔安智）

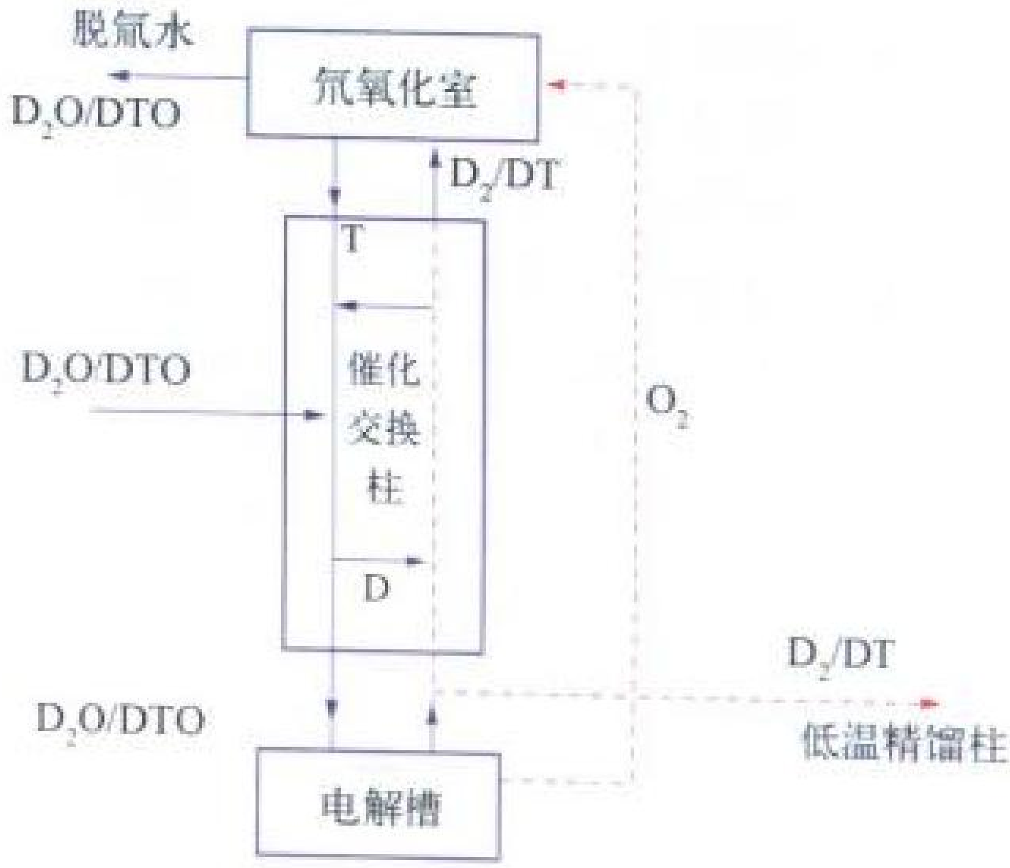
dianjiefa fenli tongweisu

电解法分离同位素　isotope separation by electrolysis method　利用电解时同位素离子在电极上放电速度的不同进行同位素分离的方法。电解一级分离系数 α 等于两种同位素离子放电速度常数之比，以电解水分离H和D同位素为例：$\alpha = k_H/k_D$，此处 k_H 和 k_D 分别表示 H^+ 和 D^+ 离子在电极上的放电速度常数，一般元素的轻同位素的放电速度要大于重同位素。一级分离系数值与操作温度、电流密度、电极材料及其表面处理情况以及电解液组成有关。H和D电解分离曾用于工业规模生产，后因电能消耗过大而被双温化学交换法和精馏法所代替；其他元素由于一级分离系数太小一直未见应用。

（撰写：李以圭　审订：朱永（贝睿））

dianjie jiehe cuihua jiaohuan

电解结合催化交换　combined electrolysis catalytic exchange（CECE）　水的电解和 H_2/H_2O 同位素催化交换相结合的方法。用电解结合 H_2/H_2O 催化交换法比单独电解法生产重水不仅氚的收率高，而且其成本也低。目前该流程已用于重水提氚工艺中（见图）。氚化重水在催化交换柱中自上而下流动，与电解产生的 D_2/DT 气流成逆流接触，发生同位素催化交换反应，即 $D_2 + DTO \xrightarrow{\text{疏水催化剂}} D_2O + DT$。液体流中DTO逐渐被浓集，并在电解槽中收集和电解，由于氚在阴极上的析出速度比氘慢，氚在电解槽中被继续浓集，并通过电解完成氘的回流，使氘与氚以气态返回交换柱。一部分气体送入低温精馏柱，由此产生的 D_2 可以氧化成脱氚重水再利用。



电解结合催化流程示意图

（撰写：韩廷德　审订：卢浩琳）

dianli

电离 ionization 见带电粒子与物质的相互作用。

dianli fushe

电离辐射 ionizing radiation 又称致电离辐射。能使物质中的原子或分子获得或失去电子而形成离子的辐射。广义的辐射包括任何以波或运动粒子的形式向周围空间或物质发射并在其中传播的能量，如声辐射、热辐射、电磁辐射、α 辐射、β 辐射、中子辐射等。狭义的辐射（又称为射线）限于电离辐射，它不包括声、热或低能电磁辐射（如无线电波），只包括能产生电离效应的高能电磁辐射（如γ射线、X 射线）和粒子辐射。电离辐射通常称为辐射。辐射按照其来源可分为核辐射、原子辐射和宇宙辐射等三类。核辐射是在原子核衰变或核反应过程中产生的辐射。原子辐射是在原子或分子轨道电子状态变化时产生的辐射，如 K 电子俘获后生出的 X 射线，或伴随 γ 射线发出的内转换电子。宇宙辐射（宇宙射线）是从外部空间到达地球的初级粒子以及它们与大气层空气相互作用后产生的次级粒子。辐射按照其荷电情况和粒子性质又可分为带电粒子辐射（α、β、p、氘、氚等）、不带电粒子辐射（中子、中微子等）和电磁辐射（γ 射线等）。

（撰写：何可学　审订：连培生）

dianli fushe de huanjing xiaoying

电离辐射的环境效应 environmental effects of ionizing radiation 对于非电离辐射的有害物质的环境效应，已经进行了许多研究工作，并制定了相应的环境标准，以保护环境中存在的动物和植物。对于排入环境中的放射性核素的控制，现在主要是基于使对人的危害达到尽可能的小。国际放射防护委员会（ICRP）在其第 60 号出版物中提到："委员会相信为了保护人类达到当前认为需要的程度而采用的控制环境的标准，可以保证不致危及其他物种。在偶尔的情况下，不属于人类的某些物种中的个体可能受到危害，但不致达到危及整个物种或在各个种群之间造成不平衡的程度。"现在许多国家的审管框架都是基于这一观点。近年来，一些作者提出了一些质疑，ICRP 也正在重新研究这一问题。这些质疑主要是：(1) 至少存在一种情况，即深海中的沉积物，它是远离人类的环境，上述已被接受的优先性可能不再正确了。(2) 上述原则并不是在所有情况和所有时间都是适用的。对动物和植物产生的剂量，其途径和大小可能不同。(3) 没有专门的电离辐射环境保护的准则、标准和导则可能降低公众对各种核设施决策的信心。(4) 评价放射性核素环境影响的途径（保护公众）与评价其他污染物所用方法（保护生物）不同，这就使得用于确定放射性和非放射性物质管理排放量标准的基础不一致。国际原子能机构（IAEA）和有些国家开始提出了电离辐射环境保护的基本原则和准则。IAEA 在其出版的"放射性废物管理原则（安全丛书 III-F，1995）"中第 2 条中提到："放射性废物管理必须提供至少像类似工业活动要求的同样好的环境保护水平。"联合国原子辐射效应科学委员会 1996 年报告中的结论是："对低 LET 辐射在剂量率低于 1～2 mGy · d^{-1} 时，预期对最灵敏的种群也不可能产生伤害效应。"总之，一些国际组织和国家正在努力推动制定电离辐射环境保护的原则、准则和标准，但还有许多问题有待解决。如作为环境保护基础的保护终点或目标尚未形成一致的意见；辐射对除人之外的有机物的效应的知识还较少等。

（撰写：潘自强）

dianlishi

电离室 ionization chamber 内充有适当气体的容器组成的电离探测器。容器内装有两个电极，在电极间施加有不足以引起电子雪崩放大的电场，但能将灵敏区内由入射辐射产生的离子对收集在电极上。电离室的种类很多，按结构可分为平板形、圆柱形、球形电离室等（见图 1、2）；按所探测的辐射种类可分为 α、β、γ 和中子电离室等；按工作方式可分为

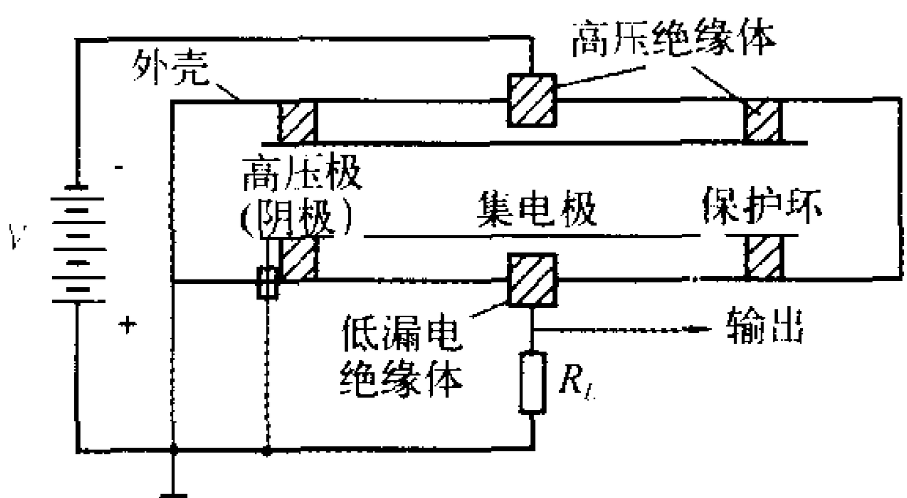


图 1 平板形电离室示意图

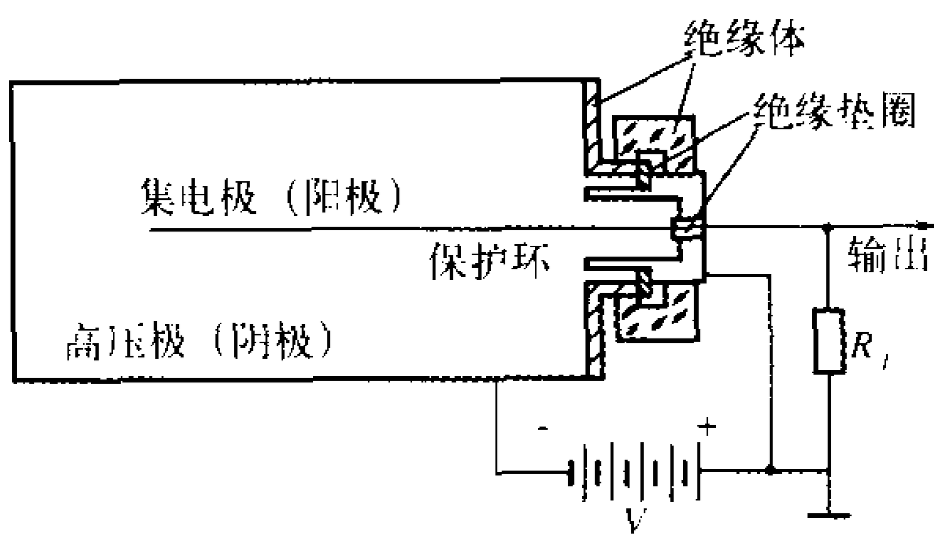


图 2 圆柱形电离室示意图

电流电离室和脉冲电离室。电离室的用途较广泛，可用于核实验室内的测量，用于工业核测控仪表（如核子秤、测厚仪、密度计及料位计等），有用于环境辐射本底监测，用于核反应堆测控，以及用于火灾自动报警等。电离室的输出信号较弱，因而要求记录电子仪器灵敏度高、噪声低，为防止漏电还需选用绝缘性能好的绝缘材料，并设有保护环等措施。

（撰写：肖文明　审订：彭华寿）

dianligongsi yaoqiu wenjian

电力公司要求文件 utility requirements document (URD) 美国电力公司为 21 世纪核电厂建立轻水堆稳定的管理基础和为投资者提供详细设计用的技术要求文件，也称用户要求文件。先进轻水堆的"电力公司要求文件"是根据轻水堆 30 多年运行的成熟技术制定的。该文件共分三卷。第一卷是先进轻水堆（advanced light water reactor,ALWR）计划的政策声明和高层设计要求。这些政策包括简化、设计裕量、人因、安全、技术成熟性、可维修性、可建造性、经济性、质量保证、标准化和管理稳定性等 14 项政策；高层设计要求包括了安全设计要求、性能设计要求、可建造性要求和设计过程要求。此外还对经济目标和实施提出了要求。第二卷和第三卷则分别针对已建成的功率为 1200～1350 MW 的改良型先进轻水堆和采用新设计概念的革新型（非能动型）先进轻水堆提出了完整的高层设计要求和针对特定设计概念的基本设计要求。

（撰写：刘国明　审订：范　刚）

dianliu dianlishi

电流电离室 current ionization chamber 测量由入射辐射产生的电离电流的电离室。主要用于辐射的剂量和强度测量。其主要特性之一是它的饱和特性，该特性系指在恒定辐照强度下，电离室的电流随工作电压的变化，在大于某一工作电

压值后，电离室的输出电流几乎不变化，此时的电流称为电离室的饱和电流，电流电离室就工作在饱和电流区内；另一特性是能量响应，它是指电流电离室的灵敏度随辐射能量的变化。电流电离室的输出电流较小，为防止漏电，须选用质量好的绝缘材料并加设保护环。

（撰写：肖文明　审订：彭华寿）

dianliulingmin qianzhi fangdaqi

电流灵敏前置放大器　current sensitive preamplifier　紧靠探测器并与探测器构成一个整体的放大器，对探测器输出的电流进行放大，实际上就是一个低噪声的电流放大器。

（撰写：李政　审订：席德明）

dianliuxing bandaoti tanceqi

电流型半导体探测器　current mode semiconductor detector　用于探测脉冲辐射源、输出脉冲电流的半导体探测器。在应用中要求探测器的输出电流能正确可靠地随入射的致电离辐射的强度迅速变化。它与用于带电粒子或光子（X、γ射线）计数的探测器不同，其一它测的是短路电流，输出电流可达几安到十几安；其二它主要为得到高速响应而设计。作为电流型探测器，它必须满足如下特殊要求：(1) 线性响应好；(2) 时间响应快、无波形畸变；(3) 输出的线性电流要大（> 10A）、动态范围要宽；(4) 脉冲上升时间要短，要求小于 10 ns；(5) 真空性能稳定。制备 PIN 电流型探测器的工艺有两种：一为采用离子注入替代双扩散工艺；二为采用钝化离子注入平面工艺，该工艺的优点是 I 区可以做得更厚，反向电流小，缺点是工艺较复杂。

（撰写：丁洪林　审订：李广将）

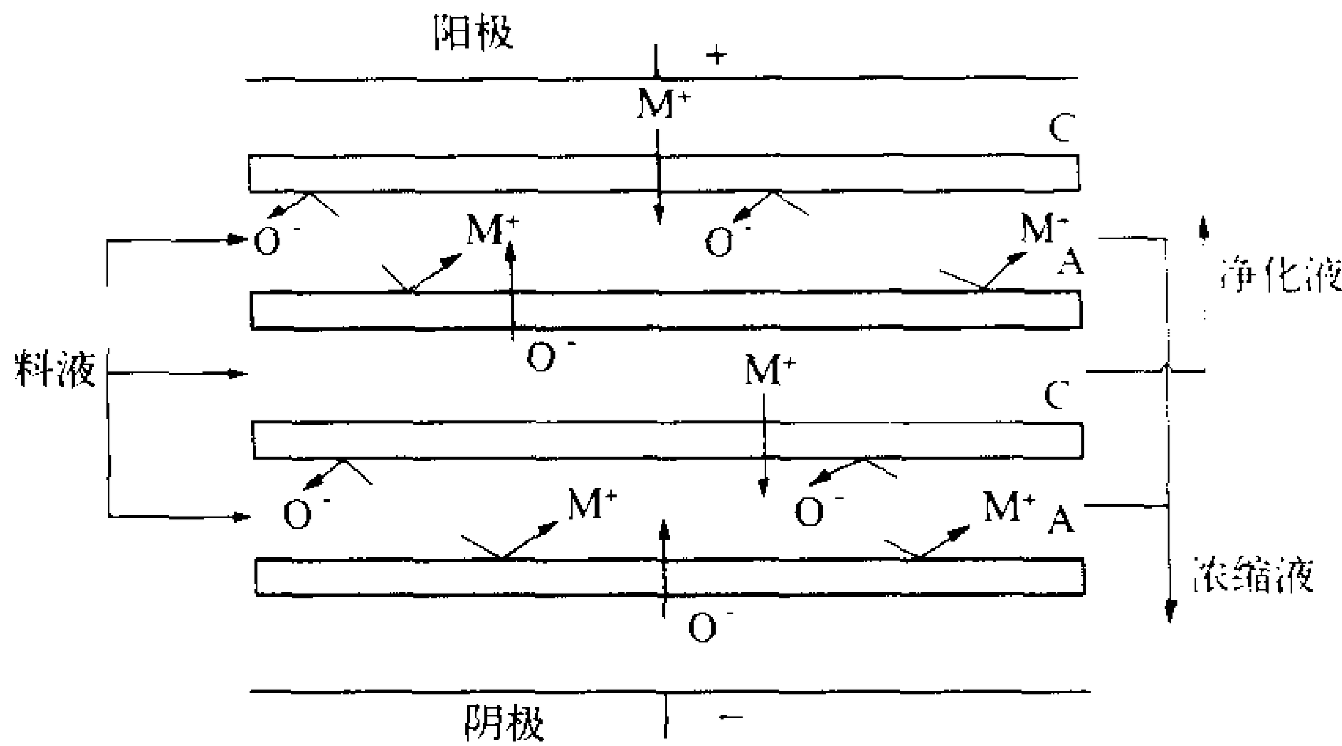
dianrong shiqu

电容拾取　capacitive pick-up　非阻拦式粒子束流脉冲的波形与相位检测装置。其结构为一个金属圆筒，置于束流管道内，并与束流管道绝缘。该圆筒与束流管道构成一个电容。束团进入圆筒后，其电荷在该电容上感应出一个电压。该电压的波形可经宽带射极跟随器及线性放大器后用示波器显示。若束团长度远大于圆筒长度，则所测信号波形可真实地反映出束流脉冲的波形。一般电子束较容易满足此条件，而低速质子和重离子束常不能满足，致使所测信号波形由于卷积效应被展宽。该装置的优点是结构简单，且可实现无阻拦检测。有时亦被用于提取束流脉冲的相位信号，供调节射频相位用，此时对波形失真的要求并不严格。

（撰写：郭之虞　审订：关遐令）

dianshenxi

电渗析　electrodialysis　在直流电场的作用下，利用离子交换膜的选择透过性，即阳膜只透过阳离子、阴膜只透过阴离子，使溶液中的离子定向迁移，以达到净化和浓缩液体目的的一种技术（见图）。在放射性废液处理中，常用电渗析作为离子交换前的“脱盐器”，提高离子交换去除放射性核素的效率和延长交换剂的使用时间。采用多级电渗析器处理放射性废液可提高浓缩倍数。为了避免浓差极化，必须控制电渗析在极限电流密度以下运行，还要定期倒换电极并进行酸洗以清除结垢。在工业生产中常用长方形多层长流程隔板组装电渗析器，在两个电极间可组装几百对，甚至上千对膜。离子交换膜种类繁多，按膜材料分为无机和有机离子交换膜；按膜结构分为异相、均相和半均相膜；按活性基团分为阳、阴离子交换膜和特种膜。已经发展了一种将电渗析与离子交换



电渗析分离原理图

C—阳膜；A—阴膜；M⁺—阳离子；O⁻—阴离子

结合起来的新型电脱离子装置（又称填充床电渗析器），它是在淡室内填装阳、阴混合离子交换剂，使离子交换剂的交换和再生作用在电渗析器工作过程中连续进行。电渗析技术广泛应用于海水、咸水的淡化和用水、工业废水的处理。

（撰写：骆大星　审订：孙明生）

dianyalingmin qianzhi fangdaqi

电压灵敏前置放大器　voltage sensitive preamplifier　紧靠探测器并与探测器构成一个整体的放大器。它的输出电压信号幅度正比于输入电流在输入阻抗上的压降，它本身是一个低噪声的电压放大器。

（撰写：李政　审订：席德明）

dianyongfa

电泳法　electrophoresis　利用电场作用下电解质溶液中带电粒子（包括离子和胶体粒子等）向两极定向移动的电迁移进行分离和鉴定的方法。电泳通常需要多孔材料作为电解质的支持体以消除电解质的非定向运动所引起的电泳带变宽，便于取样测定或获得分离后的组分。影响电泳分离的主要因素是电解质的组成，它决定元素在溶液中的状态、带电粒子的大小和所带电荷的性质、数目，所以它对电泳分离的影响最大。此外，电解质支持体的种类、外加电位梯度和电泳时间也会对电泳分离造成影响，该法在放射化学中有所应用。

（撰写：秦启宗　修订：罗文宗　审订：崔安智）

dianyongfa fenli tongweisu

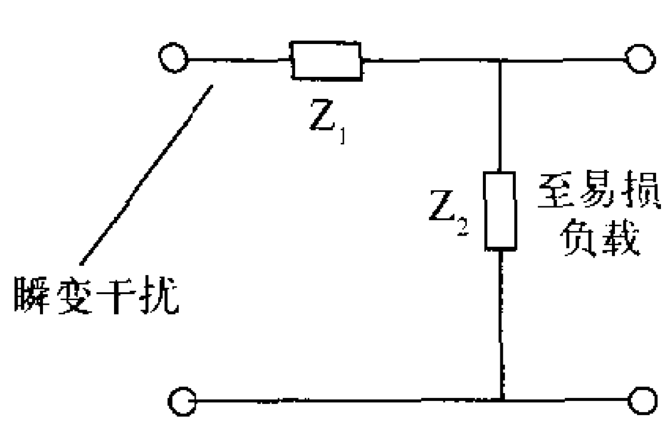
电泳法分离同位素　isotope separation by electrophoresis　利用极性同位素分子在不均匀电场中受力不同而进行同位素分离的方法。电场梯度使不同质量的极性同位素气体分子产生不同的扩散速度。该法可用于水蒸气中氘的富集，但经计算表明，电泳的一级分离系数很小，必须将电泳分离设备采用热扩散塔形式，将塔壳体接地，沿塔中心轴固定的电热丝接上高电位，当塔内通入水蒸气后，在塔底可得到一定浓度的高氘水蒸气，塔顶则是贫氘水蒸气。该法优点是设备结构简单且能耗不大，但至今未见有工业生产报道。

（撰写：李以圭　审订：朱永𬭎）

dianyong baohu dianlu

电涌保护电路　surge protection circuits　防止被保护电路受到过大过载的电冲击而采用的辅助电路。它通常与被保护电路相联系，常用于核电磁脉冲（NEMP）防护、雷电和静电放电的电涌防护。电涌保护电路主要具有以下特性：(1) 对过载电压有好的箝位能力。在大瞬变电流期间，被保护的两端电压接近系统的最大工作电压。(2) 有强的分流能力。能吸收

最坏情况下的瞬变过程能量，而不致损坏。(3) 对过载电压有快速响应时间。(4) 在瞬变过程结束后能立即恢复正常。保护电路的一般形式如图所示，图中 Z_1 通常是电阻器，Z_2 要采用电涌保护器件。常用的保护器如表所示。实际电路往往采用不同保护器件的组合，以达到取长补短的目的。



电涌保护电路的一般形式

几种典型电涌保护器件工作时的特性比较

保护器件类型	击穿电压或保护电压 /V	钳位电压 /V	最大分流能力 /A	响应时间 /ns	寄生电容 /pF	备注
电火花隙	300～1000	10～25	>100 kA (20 μs)	约100	约5	可能有跟随电流
MOV	>100	工作电压约100	100 kA (20 μs)	<0.5	10	无明显钳位电压
雪崩二极管	8～20	8～20	<100 (100 μs)	<0.1	1 nF	可精确预定钳位电压
Tranzord	>100	≈ 100	>100	约0.1	>10n F	分流能力越大，电容越大

（撰写：倪建平　审订：席德明）

dianyun fangdian

电晕放电　corona dischrage　发生在气体中的一种电传导的形式。在高压设备中存在某些曲率半径很小的电极，或尖端、毛刺等，其上面电场畸变，电场强度很高。尖端区的自由电子被加速，出现电子雪崩，导致周围气体电离，并伴随发光和嗞嗞声。当气体电离区域小于两电极之间隙时，气体不完全击穿，此即气体电晕放电。放电强弱与电极形状，电极的极性，电极间隙，气体种类、成分和气压等因素有关。在同样条件下，电极为负极性的电晕放电弱于正极性，且放电不稳定。电晕放电在某些情况下是有害的，它限制了高压设备的电压进一步升高，引起功率损耗。另一方面，在某些特定场合，电晕放电是可被利用的，例如在静电加速器中，利用电晕放电将电荷"喷"到输电带上，电荷被输运到高压电极上，建立静电高压；控制电晕针电晕放电电流大小，实现高压稳定；利用电晕针电晕放电，对高压进行分压等。

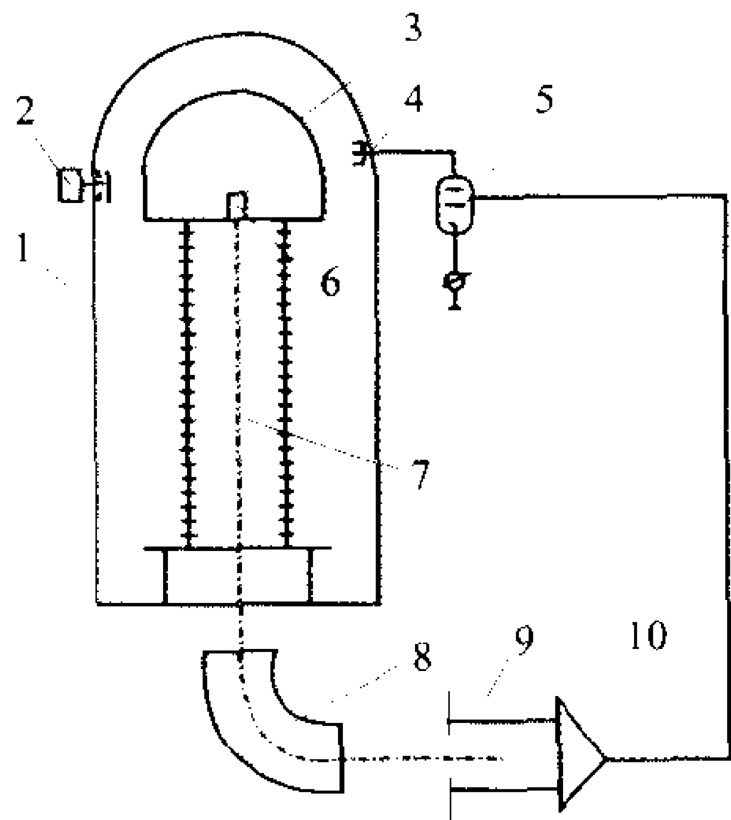
（撰写：秦久昌　审订：关遐令）

dianyun fangdian dengliziti

电晕放电等离子体　corona dischrage plasma　单电极放电产生的等离子体。常见于气体击穿前电极尖端的高场区。它是暗放电。均匀场中的电晕是无声的、暗的；而不均匀场中的电晕，即刷形放电，通常是发光的，常激起流注状通道。电晕是一种极低电流的稳定放电现象，与火花放电不同，后者是瞬间的、局域化的大电流放电。大气压下干燥空气击穿场强约为 30 kV/cm。在带电金属尖端形成的电晕的厚度由尖端外场强高于 30 kV/cm 的点的位置决定。电晕是造成高压输电线损耗的重要原因。电压超过 20 kV 时电晕可产生 X 射线以及 1 MHz 范围的射频干扰。（撰写：钱尚介　审订：黄　林）

dianyunzhen

电晕针　corona point　在静电加速器中，利用其尖针在电场中的气体电晕放电，通过控制放电电流大小，来实现对高压的稳定的装置。高压的变化取决于高压电极上电流的变化，控制喷到高压电极上的电晕针的电晕电流，就可实现高压的稳定。电晕针稳压系统原理如图所示。电晕针正对高压电极，并与高压三极管板极相连。在高压电场的作用下，针尖在气体中电晕放电。当高压电极上高压变化时，经过分析磁铁的离子束在缝隙仪上产生的信号经高压三极管控制电晕电流的变化，来稳定头部高压。采用电晕针稳压系统，可使高压稳定度达 0.1%。当人为要求高压（离子能量）做大范围改变时，可移动电晕针接近或远离高压电极，以免受控的电晕电流过大或过小，影响电晕针稳定系统正常工作。



静电加速器电晕针稳压系统原理图

（撰写：秦久昌　审订：关遐令）

dianzi

电子　electron　与质子、中子一起构成普通物质的一种粒子。电子的静止质量 $m_e \approx 9.1 \times 10^{-28}$g，仅为质子或中子质量的 1/1836。电子带 1 个单位负电荷，其值约为 1.6×10^{-19}C。电子的自旋值为 1/2（以 $\hbar$ 为单位）。由狄拉克方程预期的电子磁矩值为

$$\mu_0 = \frac{e\hbar}{2m_e}$$

考虑电磁辐射修正后的实际磁矩 $\mu = 1.0011\ \mu_0$（反常磁矩）。电子是费密子，遵从费密—狄拉克统计并满足泡利不相容原理。正电子由狄拉克预言并被安德森于1932年在宇宙线中发现。它除带一个单位的正电荷外，还具有电子的其他所有特性。（撰写：班　勇　审订：叶沿林）

dianzi boliqi

电子剥离器　electron stripper　通过剥离粒子的外层电子从而转换带电粒子束的电荷态的装置。它分气体剥离器和固体剥离器两种。气体剥离器寿命长，但电子剥离效率低，它常用于轻离子的电子剥离。固体剥离器剥离电子的效率高，但寿命较短，常用于重离子的电子剥离，以便获得高电荷态。电子剥离器有多种用途，例如在串列加速器的高压电极头部便设有电子剥离器装置，将负离子束变为正离子束，使得束流在一个高压下获两次加速。强流质子回旋加速器，采用电子剥离膜的引出方式，大大提高了引出效率。在重离子直线加速器作为后加速器的组合体结构中，采用电子剥离器，进一步增加粒子束的电荷态，提高加速效率。

（撰写：秦久昌　审订：关遐令）

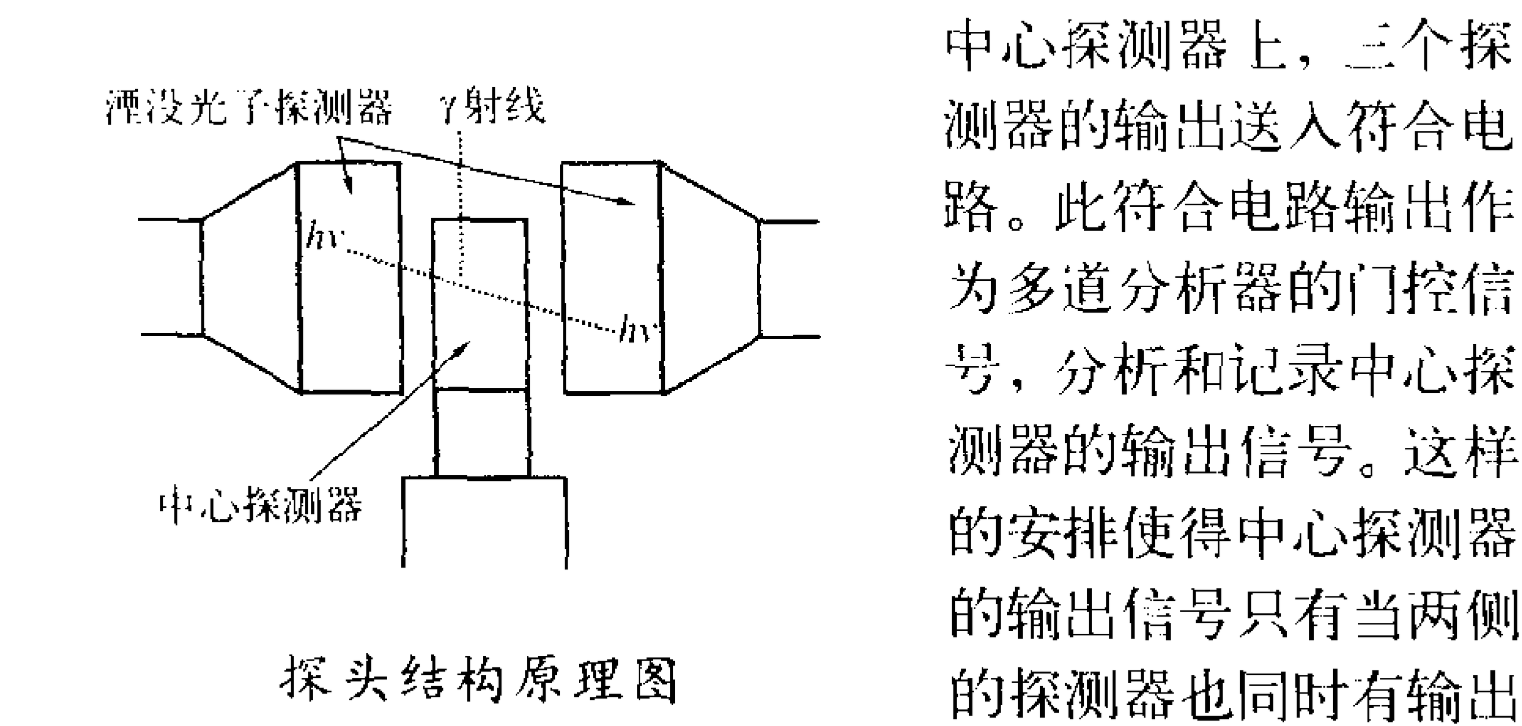
dianzidui chansheng

电子对产生　electron pair production　见γ射线与物质的相互作用。

D

dianzidui puyi

电子对谱仪 electron pair spectrometer 一种利用γ射线与物质相互作用时的电子对产生效应来确定γ射线能谱的仪器。这种谱仪由三个探测器和相应的电子电路（放大器、延迟符合单元、多道分析器等）组成。电子对谱仪的探头结构原理如图所示。探头的中心探测器可以用 NaI(Tl)，也可以用锗（锂）；两侧的探测器通常都选用 NaI(Tl)。经过准直的γ射线入射到中心探测器上，三个探测器的输出送入符合电路。此符合电路输出作为多道分析器的门控信号，分析和记录中心探测器的输出信号。这样的安排使得中心探测器的输出信号只有当两侧的探测器也同时有输出时才得到分析。也就是说，只有当γ光子在中心探测器产生电子对效应并且产生的两个湮没光子分别被两侧的探测器记录时，中心探测器的输出（即双逃逸峰脉冲，相应于γ光子的能量为1.02 MeV）才能得到分析；相应于光电峰、单逃逸峰、康普顿峰的其他脉冲都不被分析。因此，对应于各种能量的γ射线只测得一个峰，将测量结果进行数据处理就可以得到γ射线的能量。这种谱仪通常用于测量裂变、中子俘获和其他的核过程产生的高能（2 MeV 以上的）γ射线的能谱。



探头结构原理图

（撰写：李君利 曾 志 审订：席德明）

dianzifu

电子伏 electron volt 记作 eV。一种能量单位，它是一个电子在真空中通过 1V 电位差所获得的动能

$$1\text{eV}=1.602176462\times10^{-19}\text{J}$$

原子质量单位（u）和电子伏之间的关系是

$$1\text{u}=931.494013\text{MeV}/c^2$$

（撰写：叶沿林 审订：卢希庭）

dianzi fuhuo jiandingqi

电子俘获鉴定器 electron capture detector 利用射线电离气相色谱中的载带气体，所产生的电子极易为电子亲合力强的化合物所俘获，导致载带气体电离电流降低，降低的程度与亲电子化合物含量紧密相关，以此鉴定气相色谱中物质的成分与含量的一种检测装置。该装置多采用发射低能β射线的核素，如 ^{63}Ni、^{3}H 等，鉴定灵敏度极高，目前广泛用于监测环境污染物，如含卤素化学农药、磷化物、氮化物、有机金属化合物、汽车尾气等。（撰写：吕延晓 审订：卢玉楷）

dianzi ganying jiasuqi

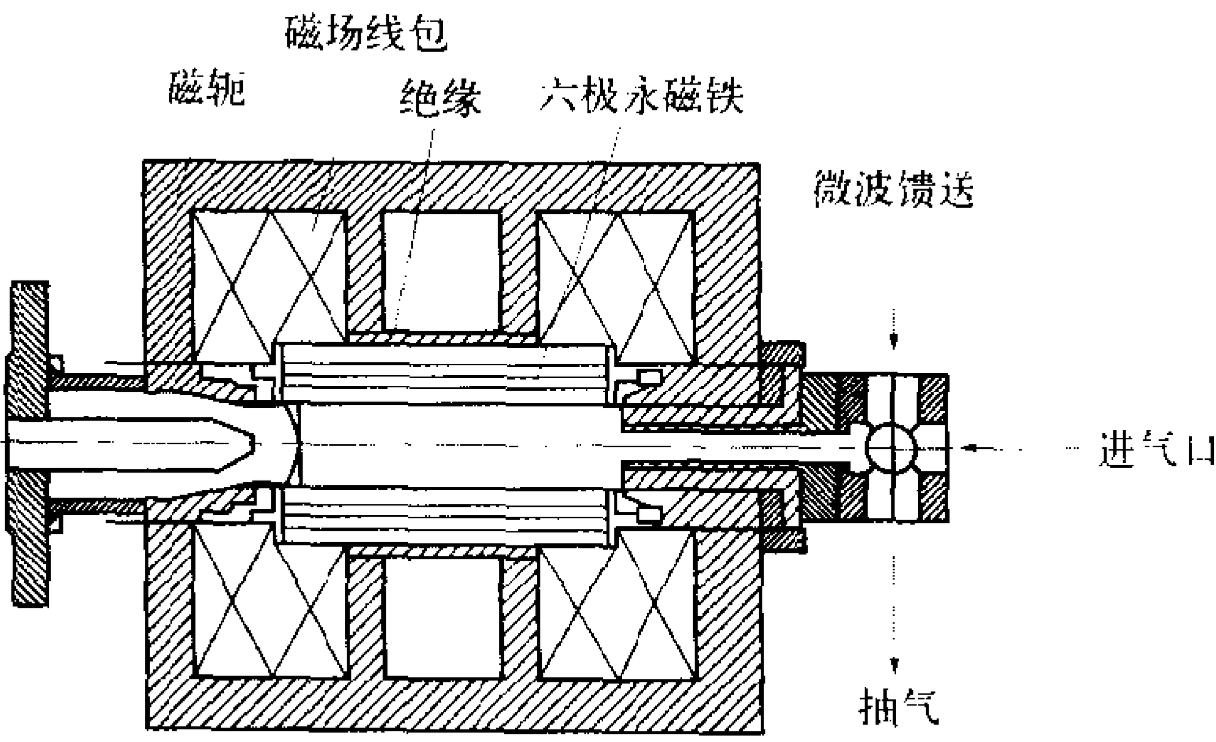
电子感应加速器 betatron 利用交变磁场感生的涡旋电场加速电子的装置。在上下圆形磁极间的气隙中设置环形真空盒。当电磁铁绕组通以交变电流，产生交变磁场时，在真空盒区域内就产生感应涡旋电场。如果用电子枪沿电力线方向将电子注入到真空盒内，那么这些电子将在涡旋电场作用下得到加速。

理论证明，要使电子在不断增长的磁场中沿着一个半径不变的圆形轨道加速运动，必须保持该轨道所包围的面积内的平均磁感应强度 $\overline{B_0(t)}$ 为轨道上的磁感应强度 $B_0(t)$ 的 2 倍，即：$\overline{B_0(t)}=2B_0(t)$，这一条件称作电子感应加速器条件。满足这一条件的圆形轨道称为平衡轨道。在平衡轨道附近的磁场分布满足 $B(r)=B(r_0)\left(\frac{r_0}{r}\right)^n$ $(0<n<1)$ 那么平衡轨道附近有轴向和径向的聚焦力。由于这一聚焦力的作用，偏离平衡轨道的电子会围绕平衡轨道作振荡运动。其振幅随着电子能量的增加而减少。这种振荡运动通常叫做电子感应加速器振荡或者叫自由振荡。电子感应加速器的输出射线（电子束或γ射线）是脉冲式的，其频率等于交变磁场的频率。

（撰写：张英侠 审订：关遐令）

dianzi huixuan gongzhen liziyuan

电子回旋共振离子源 electron cyclotron resonance ion source (ECRIS) 基于磁场中电子回旋共振（ECR）、微波加热电离的磁约束等离子体的离子源（见图）。ECR 条件为 $B_C=0.0357f$ 式中 f 为微波频率（GHz），B_C 为磁场强度（T）。它可分为产生高电荷态离子的 ECR 离子源和产生强流单电荷离子的微波离子源，两者磁场结构不同。前者按最小磁场原理、由轴向磁镜场叠加径向多极场而成，使放电室中央的磁场强度最小、室壁附近最强，其间存在一个闭合的 ECR 等磁场面。最高场强越高，微波频率越高，越有利于高电荷态离子的产生，因此，有的采用超导磁场结构。



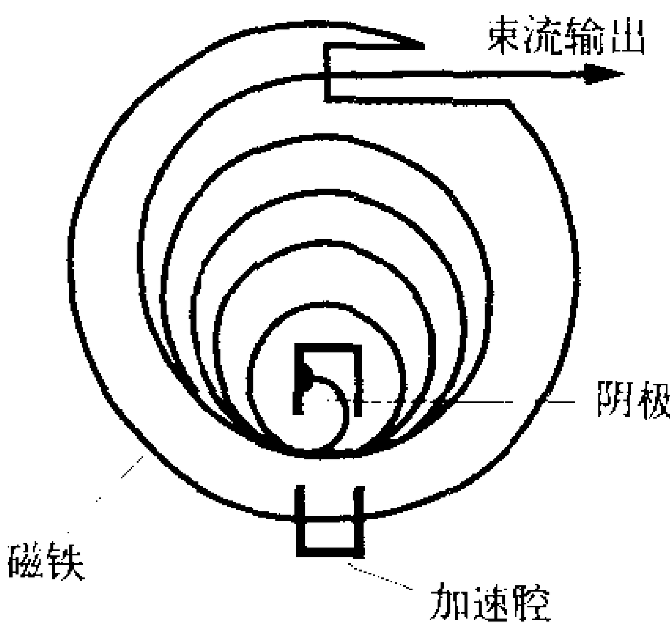
电子回旋共振离子源示意图

微波离子源是简单的螺旋管磁镜场通常 $f=2.45$ GHz。当磁场强度略高于共振值，在较高气压（大于 1 Pa）条件下，实现不完全共振加热，可以更有效吸收微波能量，从而达到电子密度 10^{13} cm^{-3}，引出很强离子流。这时微波窗的位置和结构是影响离子源性能和寿命的关键。

（撰写：赵渭江 审订：关遐令）

dianzi huixuan jiasuqi

电子回旋加速器 microtron 经典的电子回旋加速器又称微波加速器，是用在均匀磁场中放置的具有一个加速间隙的微波谐振腔来加速电子的加速器。通过间隙而获得加速的电子在静磁场中的轨迹是一系列相切的圆，切点在加速间隙处，如图所示。电子回旋加速器的电子运动满足自动稳相原理，所以它具备较好的能量稳定性和低的能量分散。但是，经典电子回旋加速器由于其腔体加速电压和轨道圈数的限制，以及腔体冷却的限制，使得加速器的输出粒



经典的电子回旋加速器原理图

子能量和平均流强均较低。为了提高电子束的输出能量，经典电子回旋加速器发展成为跑道式电子回旋加速器，原来的一块磁铁由两块端磁铁所代替；原来的一个加速间隙由一个电子直线加速器所代替。加速器可以实现连续波（CW）运行。

（撰写：关遐令　审订：王传英）

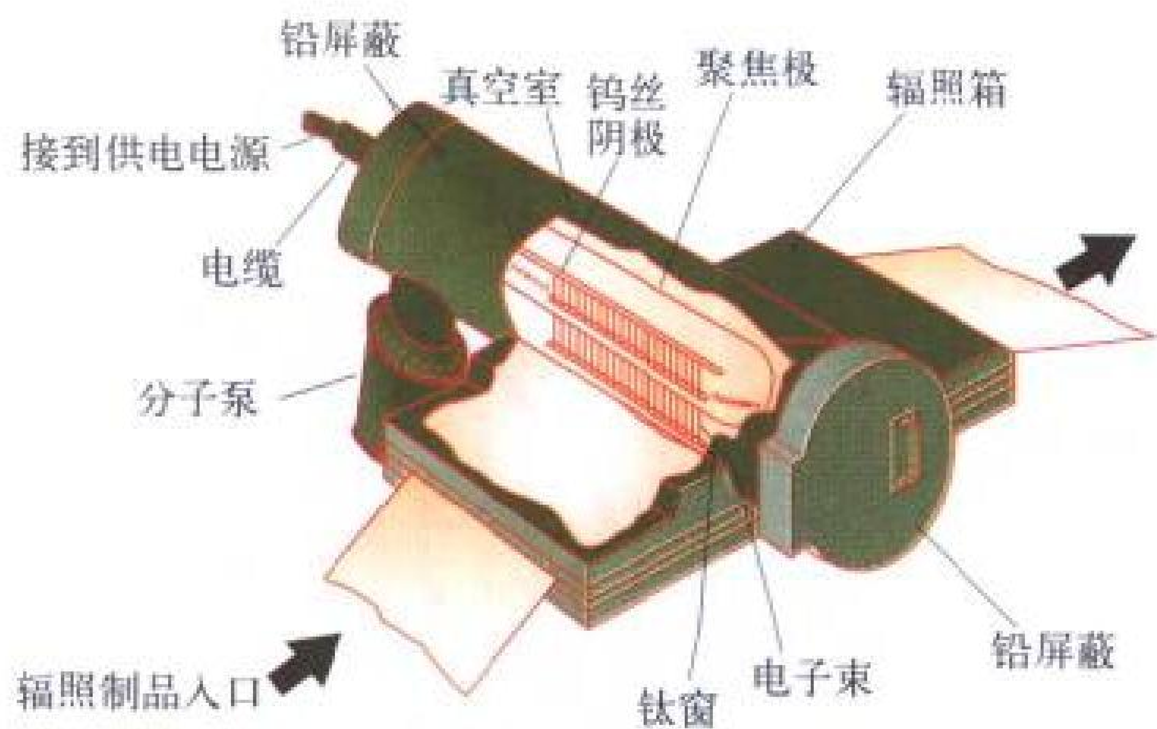
dianzi lengque

电子冷却　electron cooling　见束流冷却。

dianzilian jiasuqi

电子帘加速器　electrocurtain accelerator　一种低能（150～300 keV）、大功率（5～600 kW）、非扫描型的电子加速器。由加速器主体、高压直流电源、真空机组及控制组件组成。加速器主体成长筒形，外壳处于地电位，由阴极及聚焦极构成的电子源处于负高压，发射的电子受电场加速向一侧形成帘状电子束穿出钛窗，故称为电子帘加速器，其主体结构如图所示。

电子帘加速器的电子源有热阴极型及气体放电型两种，引出的电子束在有效辐照宽度范围内（一般为 15～250 cm），不均匀性小于± 10%。由于本机电子能量低，杂散的 X 射线



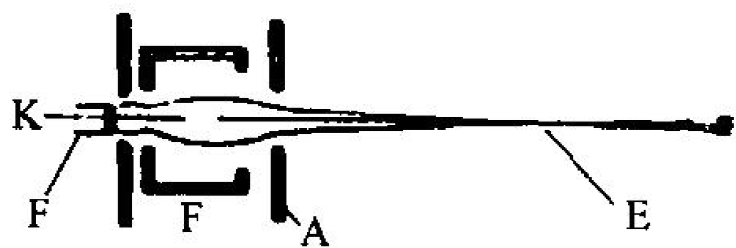
电子帘加速器主体结构示意图

可采用自屏蔽，泄漏剂量小于 2×10^{-6} Gy/h，结构简单小巧，不需要专门的防护建筑，可直接在生产线中使用，无环境污染，广泛应用于涂料，辐射固化，塑料薄膜辐射交联、改性、层压粘合、薄型雨布辐射硫化、纺织染整、织物及人造革植绒的焙固等。

（撰写：厉学文　审订：朱惜安）

dianziqiang

电子枪　electron gun　产生电子并从中引出电子束的器件或装置。它是阴极射线管、电视机显像管、电子显微镜、电子束加工装置和电子加速器以及激光分离同位素等装置不可缺少的部件。它在真空条件下工作。根据不同用途，要求提供电子束达到的参数包括能量、功率、流强、束斑尺寸和密度分布等，已有众多类型电子枪。它们一般由阴极、聚束极和阳极构成（见图）。阴极产生电子又称电子源，分为热发射、场致发射、等离子体阴极等各种类型。电子在阳极与阴极间高电场作用下加速达到所需能量并通过阳极孔引出，聚束极用以控制电子束流密度和流强。此外，光阴极和微波阴极是为电子直线加速器研究的新一代电子枪。



电子枪原理图

K—阴极；F—聚束极；A—阳极；E—电子束

激光分离同位素中用电子枪发出的电子对金属熔池进行加热。按电子枪的内部结构，分为 E 型线性电子枪和轴对称电子枪。E 型线性电子枪的阴极由几厘米到几米长的钨丝制成，阴极发射的线性电子束在磁场作用下偏转 180° 或 270° 打在金属靶上。轴对称电子枪的阴极以柱状端面发射电子，为提高阴极发射电流密度和改善聚束特性发射面为凹球面形状，采用辅助阴极加热发射阴极。聚束极和阳极为轴对称环状结构。为使轴对称电子枪加热金属成线性蒸发，在束流传输系统中另加入磁偏转扫描元件。这两种电子枪的发射电流由零点几安到几十安，电子枪功率可做到由几千瓦到几百千瓦。

（撰写：赵渭江　王德武　审订：关遐令　应纯同）

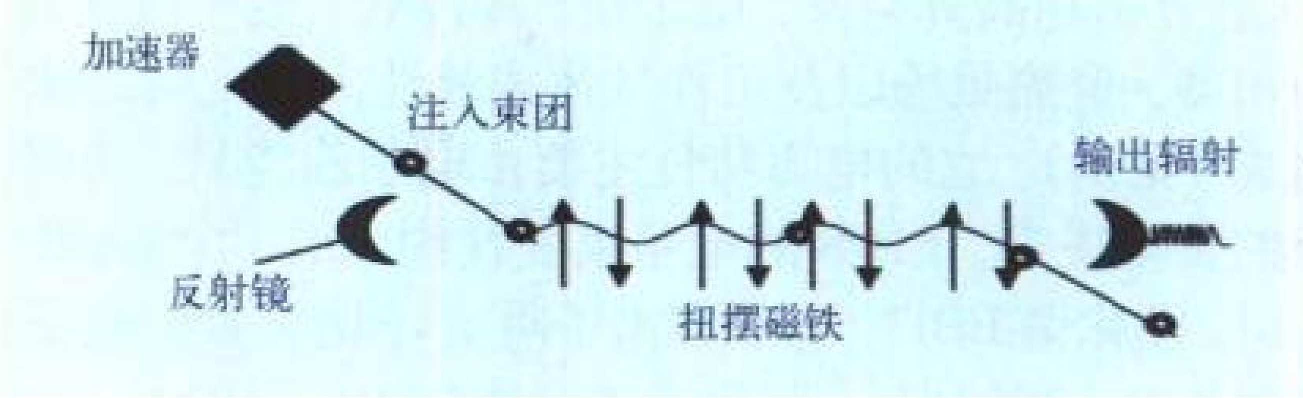
dianzishu chouyun zhunfenzi jiguang

电子束抽运准分子激光　electron beam pumped excimer laser　利用高功率电子束注入稀有气体卤素化合物中产生的激光。稀有气体卤素化合物是由不同核的双原子组成的准分子，当受到电子束的激发时，形成亚稳态的准分子。当激发态的准分子猝灭跃迁到基态时，产生相干辐射，辐射出的光子在气体激光介质中得到放大。准分子激光的抽运方式主要有 4 种：电子束直接抽运；电子束维持的放电抽运；紫外预电离的雪崩放电抽运；爆炸丝放电抽运。目前，电子束抽运准分子激光已经形成一套稀有气体卤素化合物准分子激光系列，其中主要有 XeF、KrF、XeCl 和 ArF。而以 KrF 准分子激光效率最高，输出能量最大。是非常有希望的激光惯性约束聚变的驱动器，并可利用其在实验室条件下对热核武器物理进行深入系统的研究，以及对热核武器效应对抗措施进行研究。

（撰写：杨大为　审订：王乃彦）

dianzishu chouyun ziyoudianzi jiguang

电子束抽运自由电子激光　electron beam pumping FEL　由加速器引出的相对论性电子束注入到一个由若干个磁场方向周期性交替变化的波荡器中，在洛伦兹力的作用下，其轨道周期性扭摆而产生同步辐射，即所谓自发辐射。这种辐射是在周期磁场中产生的（见图），在同一方向上某些波长的辐射将被加强，另一些波长范围的辐射被减弱，其结果使连续谱同步辐射成为相干辐射谱，而峰值辐射强度比连续谱要高几个数量级。



电子束抽运自由电子激光器的工作原理

若在波荡器两端加上反射镜，它们构成了光学谐振腔。选择适当的参数可使某些相干辐射在经过两反射镜的反射并通过波荡器时从电子束中进一步获得能量，使光辐射的振幅得到进一步放大。如此重复多次，最后振幅将达到一个稳定的饱和值，并将从反射镜中的小孔输出。这种单频辐射具有很高的功率。

（撰写：陈佳洱　审订：关遐令）

dianzishu erjiguan

电子束二极管　electron beam diode　在脉冲高电压作用下，瞬间能产生很大电子流（几千安至几兆安）的二极管，这里特指冷阴极场致发射二极管。二极管的结构由三部分组成：阴极、阳极和绝缘支撑。按绝缘结构形式可分为径向绝缘和轴向绝缘

两种类型。按其工作状态可分为箍缩型和非箍缩型两类，前者主要用于产生强韧致辐射，产生高温高压等离子体等；后者主要用于产生高功率微波、抽运高能短脉冲激光、等离子体加热、离子集团加速等。（撰写：杨大为　审订：王乃彦）

dianzishu guanxing yueshu jubian

电子束惯性约束聚变　inertial confinement fusion driven by electron beam　强流脉冲电子束驱动的惯性约束聚变。它是设想利用强流脉冲电子束在靶丸上的能量沉积，靶丸表面产生高温、高密度等离子体，将含有氘—氚材料的靶丸向内快速压缩，发生热核聚变反应，释放出热核反应能量。但由于靶面上束流强度不够高和强的韧致辐射能量损失等原因，所以电子束流不能在靶上产生瞬态高温、高密度等离子体，达不到热核聚变条件。20 世纪 80 年代中期，各实验室先后中断了此领域研究工作。（撰写：王孝君　审订：单玉生）

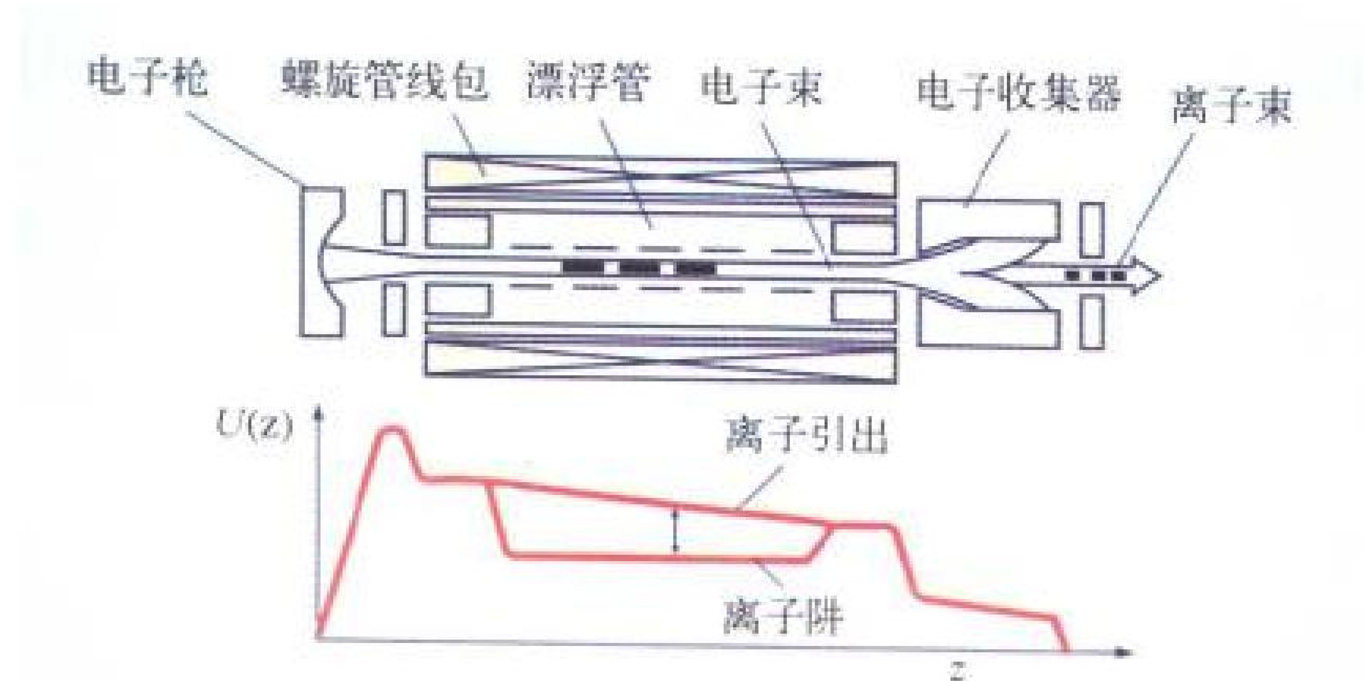
dianzishu jubian qudongqi

电子束聚变驱动器　electron beam fusion driver　电子束惯性约束聚变研究中，高功率电子束产生、传输、聚焦的装置。电子束由加速器产生。强流电子束不能在真空漂移管中长距离传输，“空间电荷效应”使束流发散，需要进行空间电荷中和。此外，电子束的自磁场使束流发生箍缩，导致传输束流不能超过临界电流，为此还必须对磁场进行中和(或称电流中和)。可采用等离子体通道的办法来传输强流电子束(在本底气体中用爆炸丝或注入激光形成等离子体通道)。由于轻离子束作为惯性约束聚变驱动器优于电子束，所以强流电子束的装置相继都改成轻离子束装置。

（撰写：杨大为　审订：单玉生）

dianzishu liziyuan

电子束离子源　electron beam ion source (EBIS)　基于静电约束，用高密度载能电子束产生高电荷态离子的装置。它由电子枪产生一束细长的、具有确定能量的、高密度强流电子束，被一强的螺旋管磁场聚焦，沿束形成负空间电荷静电离子阱，以捕获正离子并使离子逐级电离，直至达到受电子能量限制的最高电荷态，然后改变轴上电位分布而引出离子。EBIS 装置由超高真空室、电子枪、漂浮管、电子收集器、离子引出器、聚焦磁场以及工作气体或外注入低电荷态离子源等组成(见图)。它的电离特性主要由电子的能量、流强密度和束的长度决定。EBIS 的电子束长度约 1m，当它短到 1cm 左右时，则称谓 EBIT (电子束离子阱)。不同装置的电子束能量范围为 2～200 keV；聚焦束流密度为 10^2～10^3 A/cm^2，磁场强度为 1～5 T。



电子束离子源及其轴上电位分布示意图

（撰写：赵渭江　审订：关遐令）

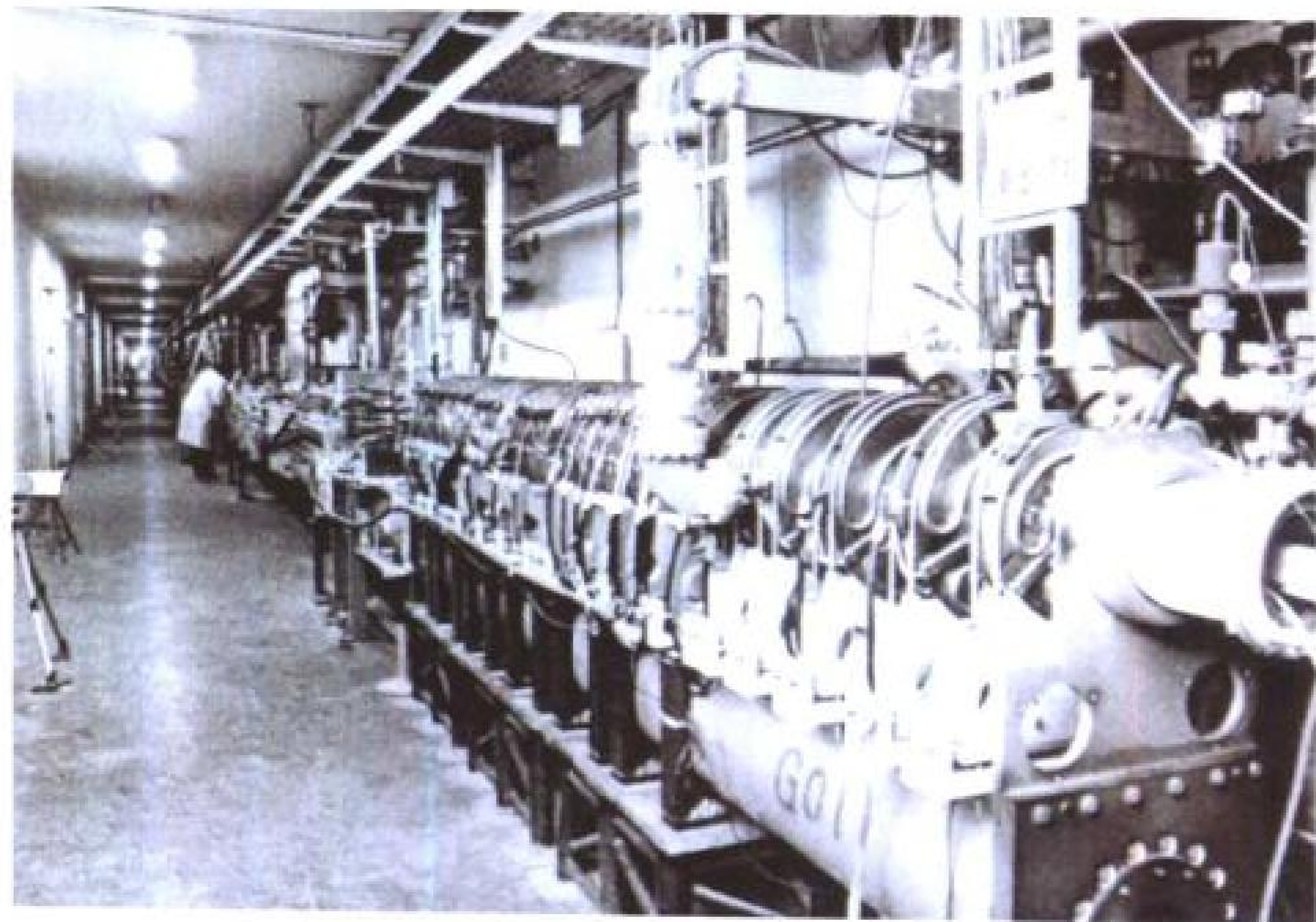
dianzixitong de kangfushe jiagusheji

电子系统的抗辐射加固设计　radiation hardening design of electronic systems　为提高电子系统的抗辐射能力而采取的加固措施。设计抗辐射电子系统需要经过一系列的试验和修改设计，需采用下列一般原则：(1) 平衡加固。是指设计应当从整个系统出发，考虑各个性能指标，做到统筹兼顾，不能顾此失彼；(2) 屏蔽。既可对整个系统、分系统进行屏蔽、也可以对系统中某些电子设备、电路或某些敏感元件进行屏蔽；(3) 回避。让易损电路或系统，在辐射开始时处于不加电状态，直到电压和电流降到不影响其性能时再恢复工作；(4) 补偿。用补偿电路减少辐射对电路和系统的影响。常用的补偿电路有：集电极阻抗补偿电路、基极—发射极阻抗补偿电路等。此外冗余法也能起一定作用。

（撰写：倪建平　审订：赖祖武）

dianzi zhixian jiasuqi

电子直线加速器　electron linac；electron linear accelerator　利用射频电场来加速电子的直线轨道加速器，由电子枪、加速管、射频功率源、射频传输、真空、冷却水、束流引出和控制等系统组成。迄今全世界已有数千台电子直线加速器用于放射治疗、无损探测、辐照加工和科学研究诸多领域。电子能量从几兆电子伏到几十吉电子伏，长度从几十厘米到几千米。现有的大部分电子直线加速器都工作在 S 波段，目前正在研制 X 波段加速结构。这种新结构尺寸较小，效率较高。由于环形加速器的辐射损失与能量的四次方成正比，建造更高能量的环形加速器已很不经济，所以由电子直线加速器组成的直线对撞机是建造下一代高能加速器的一个重要选择。



北京正负电子对撞机的注入器—— 1.55 GeV 正负电子直线加速器

（撰写：罗应雄　审订：王传英）

diaocha shuiping

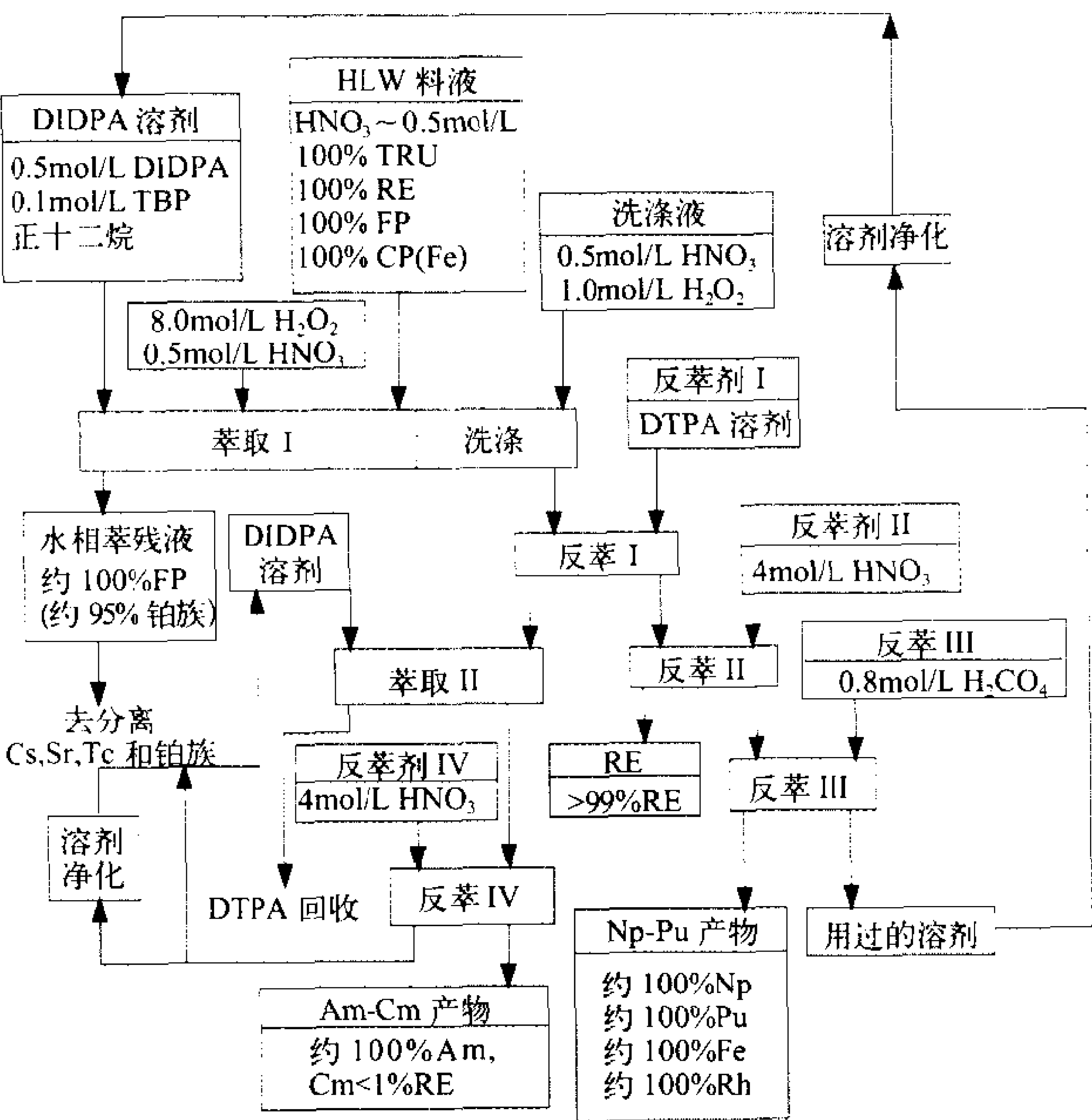
调查水平　investigation level　当被测量的一个量(如剂量当量、摄入量、单位面积的污染水平等)高于此水平时值得进一步调查其发生的原因和造成的后果。在辐射防护中对辐射照射规定了辐射防护基本限值。但是为了进行更有效的辐射防护管理，在与辐射防护有关的测量值方面规定了更低的参考水平，这有助于判断是否应在管理方面采取相应的措施。调查水平就是其中之一。一般情况下，监测的结果不会超过此水平，若超过该水平，则应查明原因，调查受照剂量的正确性。对于个人监测，ICRP 曾建议调查水平为年剂量基本限

值的 3/10 乘以作业时间占全年工作时间的份额。调查水平的量值一般为剂量或摄入量，但这些量有时用起来不方便，因此，通常采用更加容易使用的数值，如作业场所的剂量率、空气中放射性物质的浓度或者放射性物质的体内滞留量或尿中排泄量。这些量值被称为导出调查水平。

（撰写：马吉增　审订：张延生）

DIDPA liucheng

DIDPA流程　DIDPA process　一种从高放废液分离锕系元素的溶剂萃取流程（见图）。本流程由日本原子能研究所研究



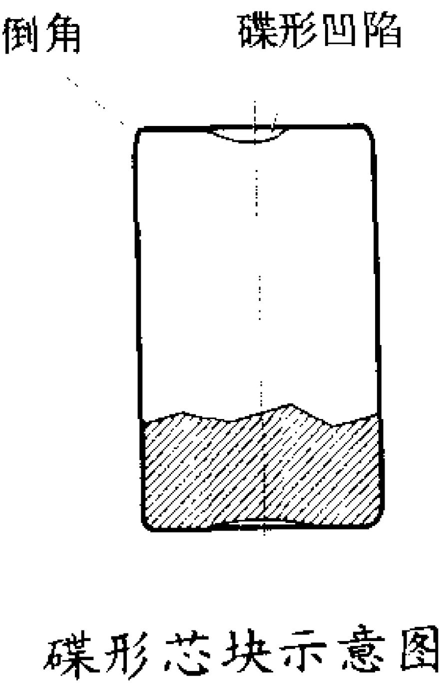
DIDPA 流程示意图

提出。它采用二异癸基磷酸 diisodecylphosphoric acid (DIDPA) 作萃取剂，其分子式为 $(C_{10}H_{21}O)_2POOH$，酸性比二乙基己基磷酸 (HDEHP) 强，能从 pH 为 0.5 左右的硝酸溶液中萃取镅和镧系元素。采用这一流程最初是把高放废液中的元素分成三组：超铀元素、Sr–Cs 和其他。1985 年以后发展成为四组分分离流程，增加了一个锝—铂族组分。由于 DIDPA 萃取容量小，需加入磷酸三丁酯 (TBP) 作改进剂。常用的萃取体系是 0.5 mol/L DIDPA–0.1 mol/L TBP– 正十二烷。高放废液进料酸度需调至 0.5 mol/L，加入过氧化氢调节镎的价态为四价，保证镎、钚、镅、锔同时被萃取。锕系元素的萃取率大于 99.38%。该流程的不足之处是需将高放废液酸度调节到 0.5 mol/L，如用甲酸脱硝将导致约 93% 的钚连同少量镎、镅一起沉淀，用稀释法降低酸度会使高放废液体积增大约 8 倍，造成处理费用增多，萃取容量低。

（撰写：焦荣洲　审订：林漳基）

diexing xinkuai

碟形芯块　dished pellet　上下端面为浅碟形的燃料芯块。设置碟形凹陷（见图）目的是为了补偿芯块的轴向膨胀，以免形成芯块之间的轴向间隙，从而避免出现轴向功率峰和在轴向间隙部位发生包壳的局部屈曲（局部塌陷）。局部功率峰容易引起燃料元件局部过热，包壳局部塌陷可能造成包壳局部变形过大、导致包壳局部应力腐蚀开裂（参见燃料芯块）。

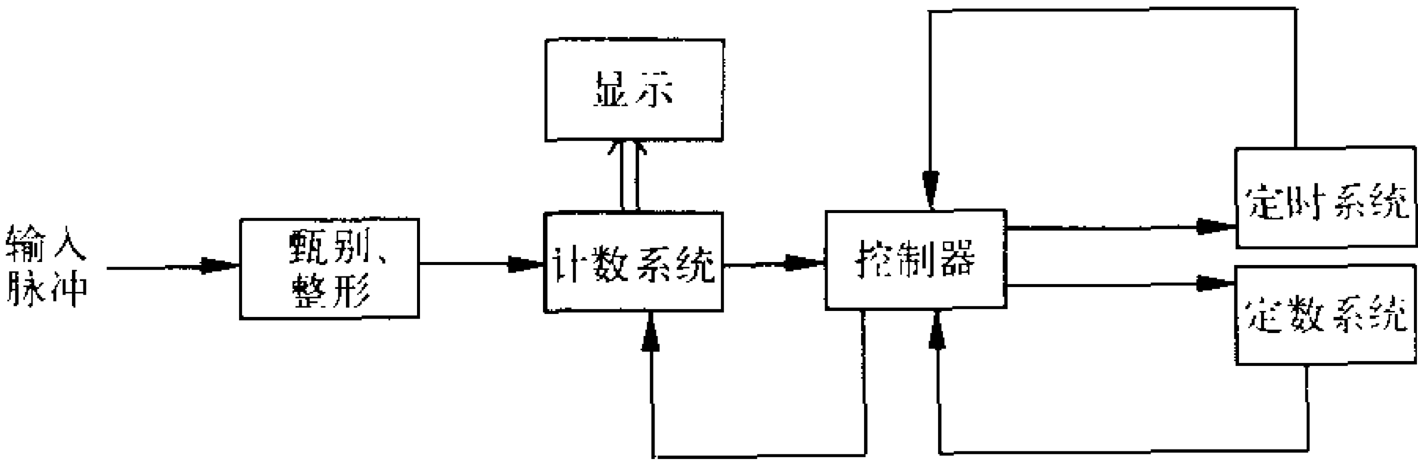


碟形芯块示意图

（撰写：张忠岳　审订：黄玉才）

dingbiaoqi

定标器　scaler　又称计数器 (counter)。一种能够准确记录在选定时间内的脉冲总数的电子部件。它广泛应用于自动测量和自动控制等领域。在核电子技术中，它是测量放射源活度的主要设备之一。定标器的原理（见图）是输入电路把输入



定标器原理图

信号中不需要的杂乱小脉冲甄别掉，而把需要的信号整形为适合于计数系统的脉冲，计数系统记录输入的脉冲数，并由显示器显示。一般的定标器具有自动操作和自动控制的功能，如定时、定计数自动测量等。定时系统按测量的要求选择预定的测量时间，通过控制器使计数系统实现定时计数。定数系统按需要选择预定的计数，通过控制器使计数系统在达到预定计数时自动停止计数。定标器的主要指标是计数容量、最大计数率及分辨时间。对于输入电路还有触发灵敏度、最大输入脉冲幅度及最大的输入脉冲宽度等项要求。

（撰写：李君利　曾　志　审订：席德明）

dingshi lüboqi

定时滤波器　timing filter　具有小时间常数（纳秒级）的滤波器。信号放大后用于定时，其输出信号的前沿具有较高的斜率噪声比，用来触发定时甄别器，定时精度高。

（撰写：刘　杰　审订：席德明）

dingwei biaoji

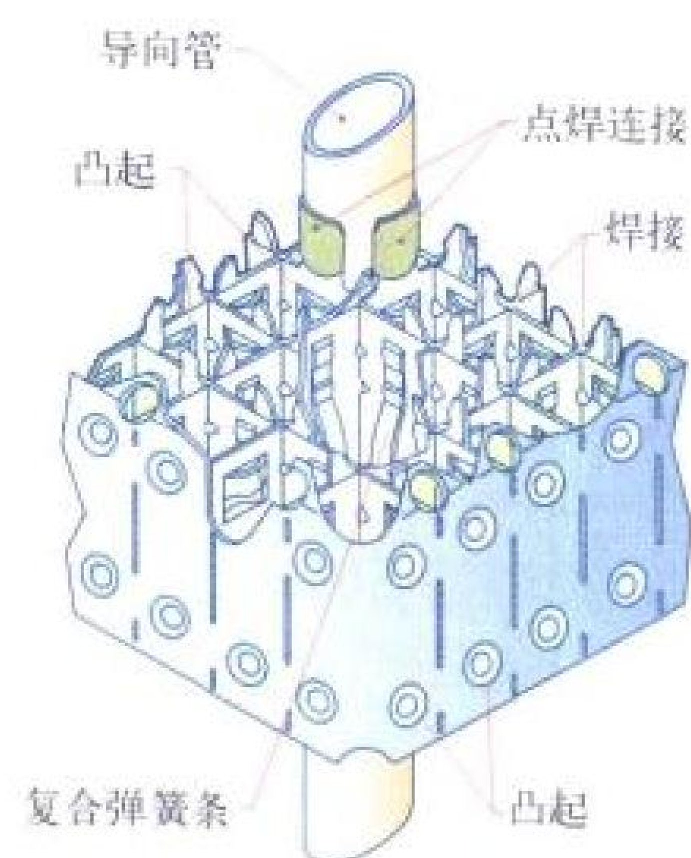
定位标记　specified labelling　将标记原子标记到某化合物分子中的特定位置。定位标记化合物中的标记原子在分子中的位置是确定的，而且标记原子的数目也是一定的。定位标记化合物命名时，除了在化合物名称前（或后）要注明标记原子的名称外，还需注名标记的位置与数目。例如，^{14}C 标记丙氨酸时，若 ^{14}C 标记在甲基上即 $^{14}CH_3CH(NH_2)COOH$，命名为 [3–^{14}C]丙氨酸；当甲基与羧基上的碳原子均被标记时，则命名为 [1，3–^{14}C] 丙氨酸。通常，用化学合成法进行定位标记。在许多精确的研究工作中，常常需要定位标记化合物作示踪剂，此时必须采用定位标记方法。

（撰写：卢玉楷　审订：吕延晓）

dingwei gejia

定位格架　spacer grid　燃料组件中使燃料棒之间保持一定间距，并为燃料棒提供横向支持的结构件。主要以条带凸起点和弹簧将燃料棒夹持定位（见图）。定位格架的弹簧与燃料棒之间应有合适的夹持力，以保证燃料棒在温度变化时的轴向自由伸缩和避免燃料棒的振动和磨蚀。定位格架还应有足够刚度，以免在地震作用下，由于相邻组件（格架）的撞击

造成格架屈曲（失稳）或破坏。现代压水堆燃料组件中，除上下两个端部支撑格架外，中间采用混流型格架，以改善冷却剂流动状态，提高组件的热工水力安全裕量。目前，压水堆燃料组件定位格架的条带由Zr–4合金制成，格架弹簧由因科镍–718制成。为节约中子，近年来，格架材料有全部采用锆合金的趋向。



压水堆燃料组件定位格架

（撰写：张忠岳　审订：黄玉才）

dingwei raosi

定位绕丝　wire wrapper　按一定的螺距缠绕在反应堆燃料棒表面上的金属丝。其作用是使相邻燃料棒之间保持一定间隙，以保证一定的冷却剂流量通过适当截面积流道带走热量。绕丝材料为奥氏体不锈钢，其直径一般略小于相邻两棒之间的间隙。绕丝的拉力大小既要使金属丝与燃料棒表面贴紧，又不能对燃料棒产生过大的压紧力。绕丝借助焊接固定在燃料棒两端的端塞上，也可以固定在包壳上。

（撰写：谢光善　审订：张忠岳）

dingxiang jiliang dangliang

定向剂量当量　directional dose equivalent [$H'(d,\Omega)$]　辐射场中某点的定向剂量当量[$H'(d,\Omega)$]是相应的扩展场在ICRU球内、沿指定方向Ω的半径上深度d处产生的剂量当量。定向剂量当量的单位为焦耳每千克（$J \cdot kg^{-1}$），专用单位名称为希沃特（Sv）。深度d以毫米（mm）表示。对于弱贯穿辐射，对皮肤和眼晶体的深度分别为0.07 mm和3 mm，其定向剂量当量可用$H'(0.07,\Omega)$和$H'(3,\Omega)$表示。对于强贯穿辐射，推荐深度d为10 mm，该定向剂量当量可用$H'(10,\Omega)$表示。$H'(d,\Omega)$的测量要求辐射场在仪器范围内是均匀的，并要求仪器具有相同的方向响应。方向Ω的说明要求选择一个参考坐标系，该参考坐标系通常与辐射场有关。在单向性辐射场的特殊情况下，方向可以按逆入射场的半径与指定的半径之间的夹角α来给定。当$\alpha=0$时$H'(d,0)$可以改写为$H'(d)$，它亦就等于周围剂量当量$H^*(d)$。

（撰写：董柳灿　审订：潘自强）

DNA tanzhen

DNA探针　DNA probe　一类具有特异顺序的DNA（deoxyribonucleic acid）克隆片段，能专一性地与受检目标同源互补结合（分子杂交），获取核酸定性与定量信息的探测方法。核酸探针是分子生物学的基本工具，具有两种功能要素：（1）跟踪性：探针依据自己特有的碱基顺序，通过碱基互补的原则，跟踪和发现与自己同源的核酸顺序；（2）显示性：捕捉到目标DNA后，通过自己的显示器，显示目标DNA的存在及其性质。DNA探针的制备过程就是将其跟踪性与显示性融入一体的过程：首先运用分子生物学方法，体外人工操作一段特异顺序核酸；再借助载体和宿主菌大量扩增和纯化这段DNA，然后进行标记（主要标记核素为^{32}P）；根据放射性探测（包括放射自显影）可开展定量和定性分析。核酸探针的应用为分析、测定及改造基因，提供核酸存在、表达和分布的信息，辨别正常与异常分子组分，研究生命活动以及为开展医学基因诊断和基因治疗开辟了新途径。

（撰写：王荣福　审订：吕延晓）

dongnanya wuhequ tiaoyue

《东南亚无核区条约》　Southeast Asia nuclear free zone treaty　1995年12月15日由当时的东盟七国马来西亚、泰国、菲律宾、新加坡、印度尼西亚、文莱和越南，以及老挝、柬埔寨、缅甸三国首脑在泰国首都曼谷签署，条约无限期有效。该条约参照南太平洋无核区条约的框架制定，但地理范围包括了各缔约国的大陆架和专属经济区，因此将可能引起有关国家的领海主权纠纷，美国也担心其太平洋和印度洋之间的海上航线受到限制，要求缔约国修改相关条款。条约至今尚未生效。条约规定，缔约国不得制造、拥有、试验和使用核武器，其他任何国家不得在条约规定的区域内从事上述活动；缔约国自行决定是否允许外国携带核武器的飞机和舰只在本国停留或从本国过境；条约的地理范围包括缔约国领土、领海、大陆架和专属经济区。另外，条约还要求核国家签署有关附加议定书，承认并尊重东南亚无核区地位，承诺不对缔约国使用或威胁使用核武器。　（撰写：段占元　审订：唐西生）

dong

氡　radon　一种天然放射性元素，化学符号Rn，原子序数86，属周期系O族，为稀有气体。氡有时也称为射气。1899年R.B.欧文斯和E.卢瑟福在研究钍的放射性时发现氡，即^{220}Rn，当时称为钍射气。现已发现质量数198～227的全部氡同位素，其中半衰期最长的同位素是^{222}Rn（3.8235 d）。天然氡同位素都是天然放射性衰变系的中间产物。氡是无色无味的气体，在标准状况下氡的密度为9.73 g/L。氡原子的电子构型为$(Xe)4f^{14}5d^{10}6s^26p^6$，氡分子由单原子组成，化学性质极不活泼。氡很容易吸附于橡胶、活性炭、硅胶等吸附剂上，加热可解吸。（撰写：徐运海　修订：郭景儒　审订：崔安智）

dong celiang

氡测量　measurement of radon　对氡及其子体的活度、活度浓度或α潜能浓度所进行的测量。氡活度浓度测量可分为抓取法测量瞬时活度浓度和累积法测量平均活度浓度。也可分为工作场所、大气和住宅中氡的测量以及氡子体个人剂量测量。空气中氡的测量方法有：活性炭吸附法，活性炭低温吸附法和双滤膜法。矿井下氡的测量方法有：闪烁室法，如路卡斯室测氡仪和ZnS（Ag）膜贴壁闪烁室法测氡仪，电离室法，双滤膜法和活性炭滤纸法。水中氡的测量方法有：闪烁室法和液体闪烁计数法。氡子体测量方法有：三段计数法测单个氡子体活度浓度，计数法测氡子体α潜能浓度和能量甄别法。为提高氡及其子体的测量质量，必须注意要建立完整的标定刻度体系和质量保证措施，还应注意研究各种环境因素的影响和探测取样方法本身可能存在的不确定度。

（撰写：潘英杰　卢正永　审订：董柳灿　赵亚民）

dong fanghu

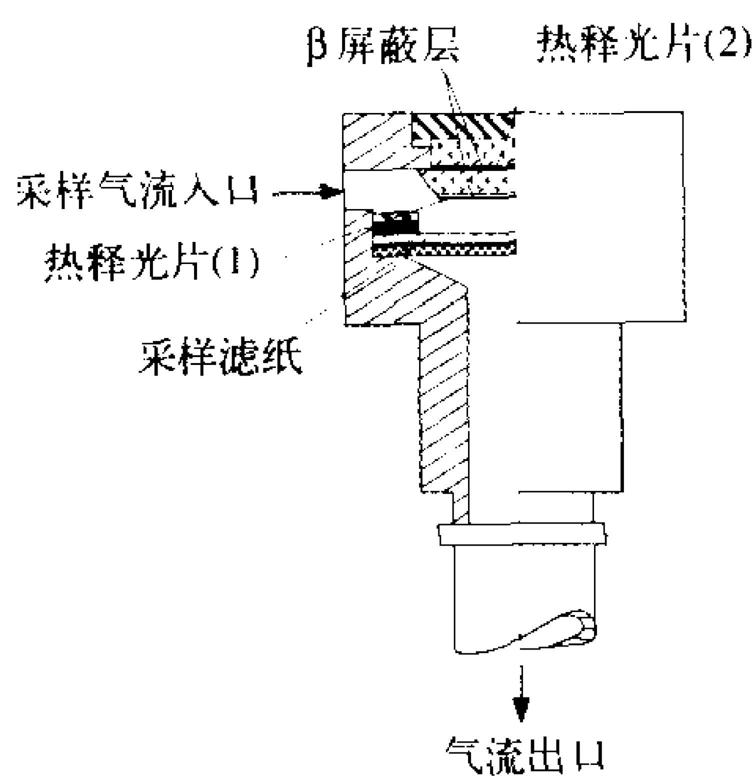
氡防护　protection against radon　为了控制和减少氡及氡子体对人类的照射危害所采取的防护手段和措施。氡防护的原则是使公众和工作人员所受氡的辐射危害控制在可合理达到

尽可能低的水平，保证公众和工作人员的安全和健康。氡防护的主要措施是：(1) 控制工作场所氡源，及时清运矿井中的铀矿石和废渣，并随时排出矿井含氡废水，加强废旧采空区和巷道密闭，在氡析出表面喷涂防氡层，最大限度地降低氡的析出量；(2) 选择科学的通风方式，建立合理的通风系统，及时有效地将已释放扩散到矿井、地下建筑物和居室、公共建筑中的氡及氡子体及时排至环境大气，减少对人员的照射；(3) 尽可能减少人员在高浓度氡场所（矿井、地下公共建筑物及居室）的作业和活动停留时间减少氡对人员的危害；(4) 尽最大可能阻断和控制环境中氡的污染源，如将裸露在地表含铀、钍的矿岩和尾渣覆盖或采取工程屏障，使之与环境隔离，减少氡向环境的释放；(5) 注意控制供暖、发电燃煤锅炉含氡废气和放射性气溶胶的排放，必要时应加强废气净化，减少对环境的污染；(6) 住宅及公共建筑物建筑材料应尽可能选择含铀钍放射性低的材料，减少氡的释放，并在氡析出较高的建（构）筑物表面喷涂防氡层，以降低氡的危害；(7) 加强场所和环境氡及氡子体监测，随时掌握辐射防护水平，及时改进调整和完善通风等综合防氡措施，改善环境质量状况。

（撰写：潘英杰　审订：董柳灿）

dong leiji celiang

氡累积测量　accumulative measurement of radon　在给定时间内对氡或氡子体活度浓度或 α 潜能浓度进行连续累积测量。氡累积测量的主要特点是采样时间长（例如连续几天或半年以上），测量结果反映的是一段时间内氡浓度累积特征或对时间的累积平均值，其活度浓度通常表示为 $Bq \cdot m^{-3} \cdot h$，α 潜能浓度表示为 $J \cdot m^{-3} \cdot h$。氡累积测量实际上都是对氡子体所进行的累积测量，其基本测量原理是在对氡子体进行采样的同时，利用有关的探测元件不断把累积的氡子体的辐射效应记录下来。这些辐射效应可当时记录并直接显示对时间的累积增长，也可拿回实验室分析测量（见图）。该值对评价环境（包括工作场所）辐射防护水平和评价对工作人员及公众的健康影响程度具有重要价值。用作氡累积测量的探测元件有热释光片、半导体探测器以及各种固体径迹探测器等。

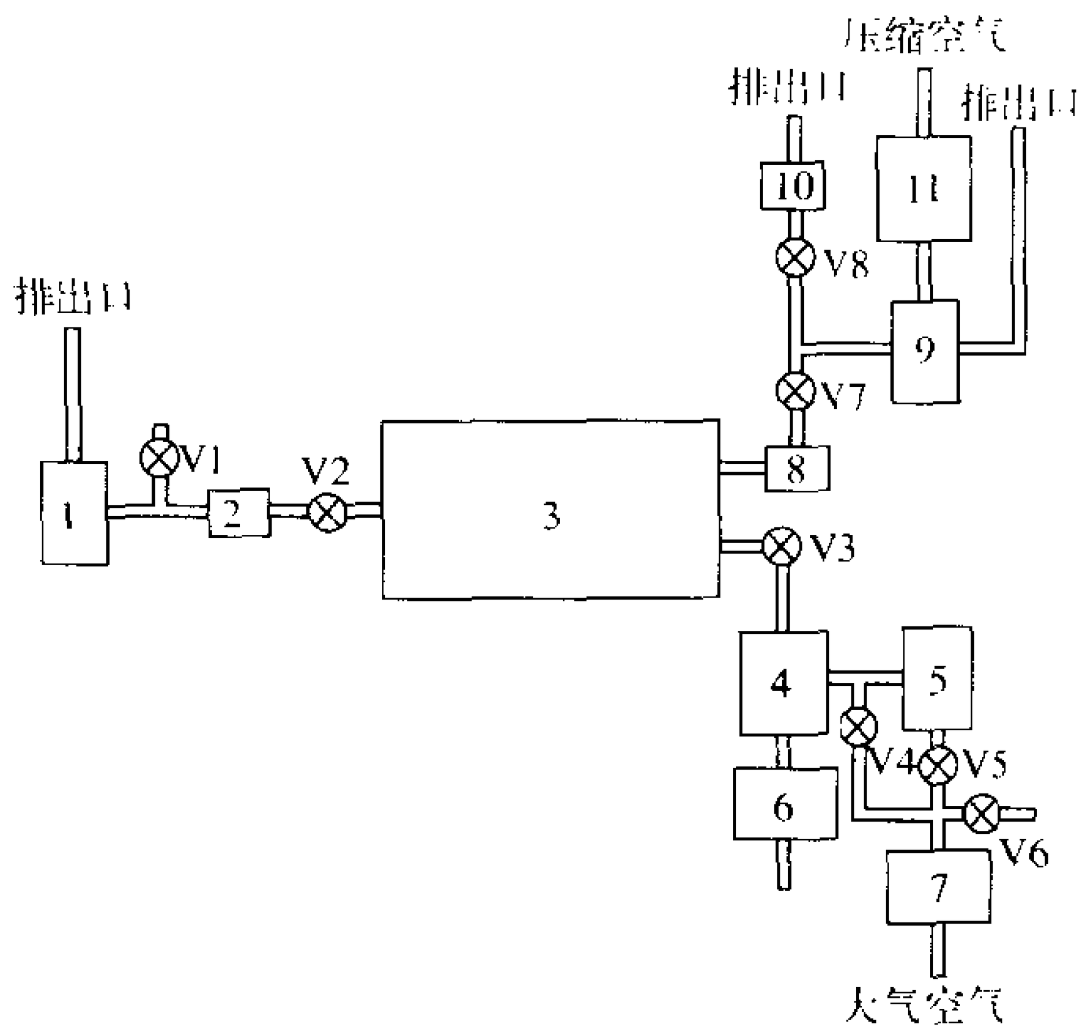


氡子体累积个人剂量计原理图

（撰写：潘英杰　卢正永　审订：赵亚民）

dong shi

氡室　radon chamber　一种具有可调氡和氡子体浓度特性及其他特性的实验设备。氡室主要由以下部分组成（见图）：(1) 具有一定体积的氡气室，用于充装具有确定浓度的氡和氡子体；(2) 能不断生长氡的氡源，实际是一个具有一定放射性活度的镭 (^{226}Ra) 放射源；(3) 能产生亚微米气溶胶粒子的气溶胶产生装置；(4) 温湿度调节控制装置；(5) 相应的调节、控制、监测装置及必要的附属设备。氡室主要用于各种氡及氡子体监测装置和仪表的刻度。理想的氡室应具有对氡和氡子体的活度浓度、子体平衡比、子体结合态份额以及温度、湿度等准确可控可调的特性。



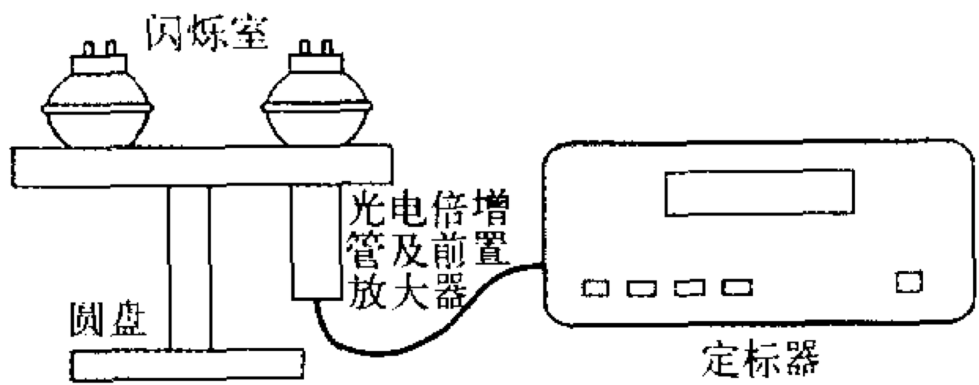
氡室基本组成图

1—气泵；2—流量计；3—氡气室；4—混合室；5—湿度调节器；6—气溶胶产生器；7—空气过滤器；8—氡进入流量表；9—氡源控制器；10—氡排出流量表；11—干燥氡源；V1～V8—控制阀门

（撰写：卢正永　审订：王恒德）

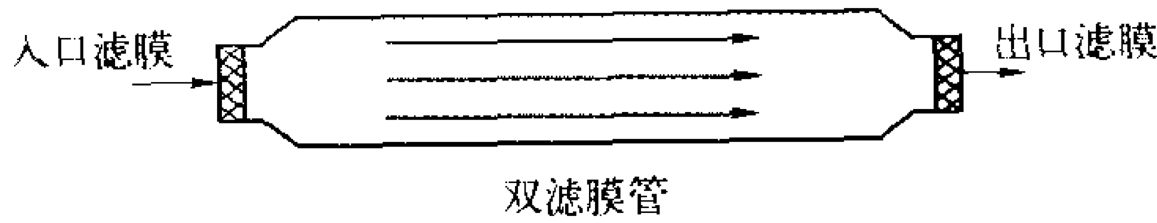
dong shunshi celiang

氡瞬时测量　grab measurement of radon　在对氡或氡子体的放射性活度浓度或 α 潜能浓度进行测量时，如果采样时间短，测量结果反映的只是采样时刻或采样的短时间内的浓度特征，这样的测量称为瞬时测量，也可称为短时测量。由此而得出的活度浓度和 α 潜能浓度称为瞬时活度浓度和瞬时 α 潜能浓度。该值的测量对评价环境（包括工作场所）空气质量状况和制定改善环境（包括工作场所）通风防护方案具有重要作用。



闪烁室法测氡装置图

氡瞬时测量的方法很多。对于氡的活度浓度，最常用的测量方法有电离室—静电计法、闪烁室法和双滤膜法等（见图）。这些方法的采样几乎都是瞬时的。



双滤膜法取样装置图

（撰写：潘英杰　卢正永　审订：赵亚民）

dong xichulü

氡析出率　emanation rate of radon　氡 (^{222}Rn) 在物质内部通过扩散和对流等作用转移到物质表面进而释放到空气中的现象，称为氡析出。定量描述氡析出速率的量称为氡析出率，它定义为：单位时间、由物质的单位表面积所析出的氡的放射性活度，单位为 $Bq \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$。氡是由物质中的镭 ($^{226}Ra$) 衰变而形成的一种放射性惰性气体。大气中的氡主要由地表析

出，居室中的氡则主要来自基底土壤、建筑材料、室内用水和室外空气。各种地面的氡析出率主要与土壤或岩石中的镭含量、物质密度及孔隙率等参数有关；各种建筑材料的氡析出率则主要与建材中的镭含量、物质密度及孔隙率等有关。人们在关心氡析出的同时，也关心钍(^{220}Rn)的析出。定量描述钍析出率的量称为钍析出率，其定义方法与氡析出率相同。因钍是由钍(^{232}Th)衰变系衰变而来，钍析出率则主要与物质中的钍含量等参数有关。表中是地表土壤和建筑材料的氡析出率和钍析出率的典型值。

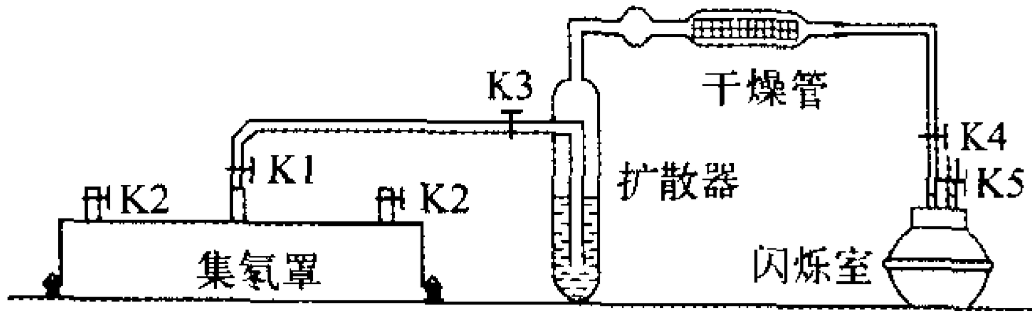
氡和钍的析出率

	土 壤		建 筑 材 料	
	典型值	范围	典型值	范围
镭的活度浓度 /Bq·m^{-3}	40	5～120	60	5～120
钍的活度浓度 /Bq·m^{-3}	40	5～120	50	5～200
氡析出率 /Bq·m^{-2}·s^{-1}	0.02	0.001～0.05	0.0004	0.01～0.2
钍析出率 /Bq·m^{-2}·s^{-1}	1	0.02～2.5	0.05	0.0001～0.003

（撰写：卢正永　审订：王恒德）

dong xichulü celiang

氡析出率测量 measurement of radon emanation rate　对氡从各种物体表面释出快慢的测量就是氡析出率的测量。氡析出率测量主要针对地表土壤、矿岩及居室中的建筑材料进行，这种测量不仅对环境大气和居室空气可能的氡污染状况进行评价及制定环境治理方案和制定整治铀废石尾矿堆场治理方案有实际意义，该值也是评价治理效果的重要指标。同时在铀钍等矿产资源勘探也有实际意义。氡析出率测量通常采用两种方法，一种是将待测物质封装在容器内有，被封装的物



氡析出率测量现场取样装置图

质所析出的氡在容器内不断累积，设法将容器内累积的氡进行取样测量，根据封装时间、被封装物质的表面积等参数算出氡析出率。另一种方法是当前普遍采用的局部静态法(积累法)。即在待测表面扣置一个不透气、不吸气、不溶氡的材料(不锈钢)制成的集氡罩。在罩四周用不透气、不吸氡材料将其密封起来。上盖备有4个进气孔和中央1个取样孔。现场取样装置如图所示。通过测量被扣物体表面析出的氡在容器内的积累情况来测出氡析出率。

（撰写：潘英杰　卢正永　审订：赵亚民）

dongli fanyingdui

动力反应堆 power reactor　主要用于生产动力的核反应堆，简称动力堆。按具体用途可分为发电堆、推进动力堆(已实现的是舰船推进)和供热堆(如用于城镇供热、工业供汽、海水淡化等)。任何新的动力堆型，为了验证其技术上能否实现和经济上是否合理，一般需要投入巨大的人力、物力和资金，经过实验堆、原型堆和商用示范堆三个发展阶段，历时

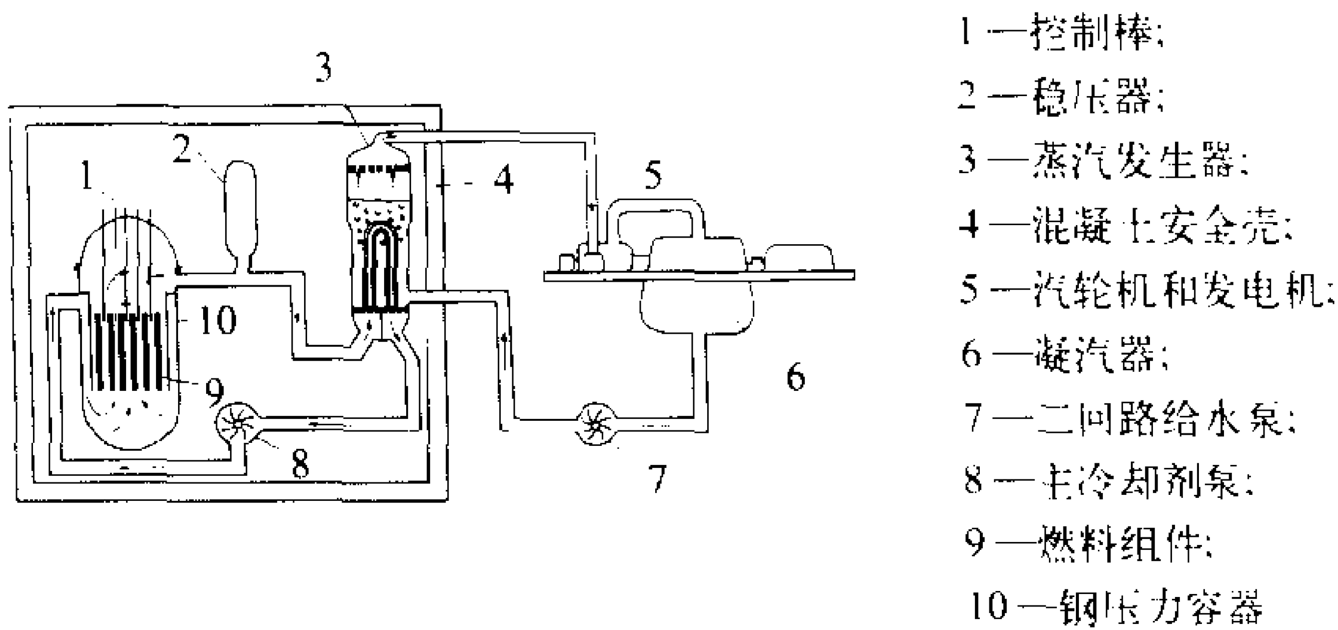


图1 间接循环动力堆(压水堆)装置流程示意图

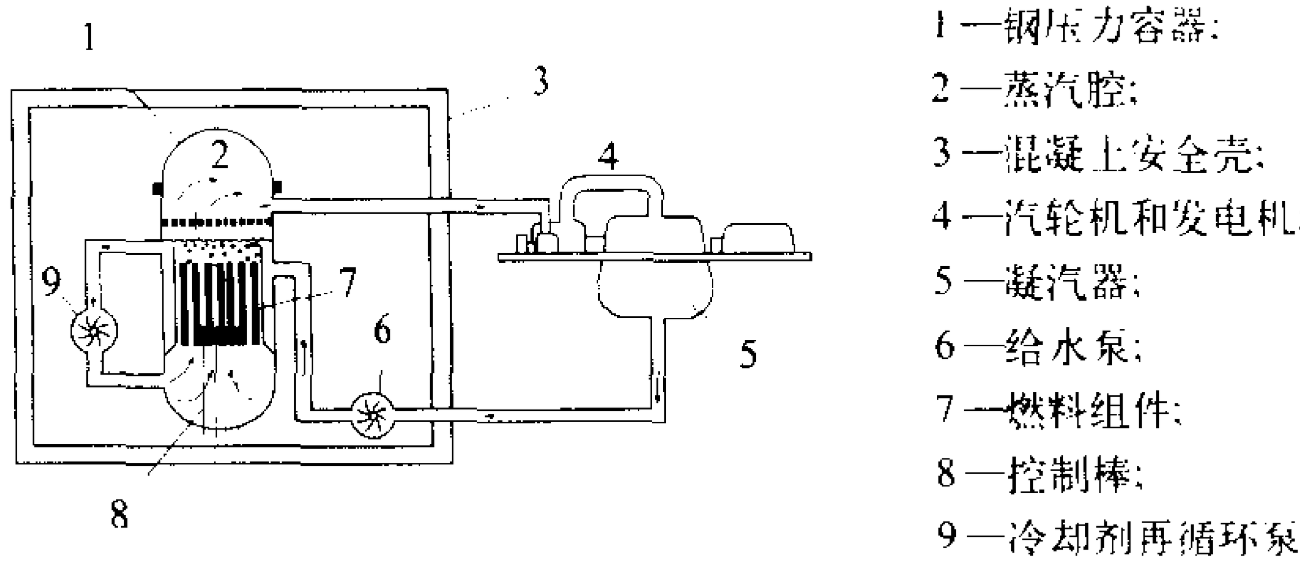


图2 直接循环动力堆(沸水堆)装置流程示意图

十几年。当今技术成熟、经济上具有竞争力、运行数量较多的几种陆上发电堆型是：压水堆(占64%以上)，沸水堆(占22%以上)，重水堆(约占6%)，石墨气冷堆(约占3%)和石墨水冷堆(约占4%)。其中沸水堆和沸水冷却石墨堆装置采用直接循环，在堆内直接产生蒸汽送往汽轮机发电；其余堆型均采用间接循环，由反应堆冷却剂将热量载入蒸汽发生器，传给二回路水使之变成蒸汽，再送往汽轮机发电(见图1、2)。

（撰写：连培生　审订：陈叔平）

dongliang zhiliang he nengliang fenbianlü

动量、质量和能量分辨率 momentum, mass and energy resolution　动量分辨率是描述磁分析器分析能力的一项指标。动量不同的带电粒子通过磁分析器后运动轨迹分开，在磁分析器的像平面上形成各峰分立的动量谱。如果磁分析器刚好能把动量为 p 与 p-Δp 的两个峰分开，则该分析器的动量分辨率 R_p 为

$$R_p = \frac{p}{\Delta p}$$

质量分辨率是描述分析器对不同质量粒子分析能力的一项指标。质量分析器通常称为质谱计或质谱仪，质量不同的带电粒子通过质量分析器后运动轨迹分开，在像平面上形成各峰分立的质量谱。如果质量分析器刚好能把质量为 M 与 $M-\Delta M$ 的两个峰分开，则该分析器的质量分辨率 R_M 为

$$R_M = \frac{M}{\Delta M}$$

能量分辨率是描述静电分析器分析能力的一项指标。能量不同的带电粒子通过静电分析器后运动轨迹分开，在静电分析器的像平面上形成各峰分立的能量谱。如果静电分析器刚好能把能量为 E 与 $E-\Delta E$ 的两个峰分开，则该分析器的能量分辨率 R_E 为

$$R_E = \frac{E}{\Delta E}\ 。$$

（撰写：郭之虞　审订：关遐令）

dongtai gongneng ceding

动态功能测定 dynamic function study　将某种与一定脏器或组织的生理学过程或代谢过程相关的放射性核素或标记化

合物引入体内，从体外通过核探测仪器测量放射性在该脏器或组织中随时间变化情况，以反映器官功能的技术。其原理是快速静脉注射放射性药物后，示踪剂或显像剂随血流流经和灌注脏器，或被脏器不断摄取和排泄，或在脏器内反复充盈和射出等过程，导致脏器内的放射性在数量上或位置上随时间发生变化，经探测仪器记录脏器内放射性变化过程，用计算机勾画感兴趣区（ROI）放射性数据生成时间—放射性曲线（TAC），并计算出各种定量参数以反映该脏器的功能。特点是可用于观察脏器每个微小局部的功能变化和差别，集动态变化于一帧影像之上，一目了然，易于判断，往往能较灵敏地反映出脏器、系统的早期功能改变，有利于早期诊断。

（撰写：王荣福　审订：吕延晓）

dongrong shiyan

冻融试验　freeze thaw tests　模拟气候条件的变化，试验固化体承受气候变化能力的一种评价固化体性能的试验。实际上这是一种耐候老化试验。固化体在长期贮存期间，其环境温度由于季节变化而变化，这可能引起固化体性能的变化。为了在短时间内研究长期作用效果，一般用加强试验法。具体程序随不同固化体而异，各国的标准也不尽相同，如我国规定水泥固化体在−20℃下冷冻3 h后，在15～20℃水浴中解冻4 h，并依次循环5次。而法国控制冻融温度为在−20℃ ± 3℃保持24 h，再融化至(5 ± 1)℃并维持2 h，再升温至(40 ± 3)℃保持24 h，再降至(5 ± 1)℃，如此反复5次。然后测定其抗压强度，并将此结果与未经冻融的样品进行比较。冻融试验结果主要用作近地表处置的固化体（如水泥、塑料和沥青固化体等）的一种性能指标。

（撰写：范显华　审订：曾继述）

dujushi

独居石　monazite　稀土元素的磷酸盐，化学式为 $(Ce, La, \cdots)PO_4$。钍经常以类质同象形式置换稀土元素，ThO_2 含量一般为5%～10%，有时高达28%。单斜晶系，一般为板状晶体，有时呈柱状、等粒状。颜色为浅黄褐色、红褐色（见图）、红色，偶而呈绿色。玻璃光泽或油脂光泽。解理有时完全。硬度5～5.5,相对密度4.9～5.5。二轴晶正光性。折光率：N_g=1.837～1.849，N_m= 1.787～1.801，N_p = 1.785～1.800，光轴角 $2V$ = 11°～14°。独居石主要产于伟晶岩中，有时也产于花岗岩和花岗片麻岩中，与锆石、磁铁矿、钛磁铁矿共生。含独居石岩石风化后可以形成砂矿。



独居石晶体

（撰写：赵凤民　审订：胡绍康）

duli liebian chan'e

独立裂变产额　independent fission yield　见裂变产额。

duli yanzheng

独立验证　independent verification　按有关法规、标准或管理规程的要求，由具备资格并对被验证活动不负操作责任的独立人员对重要运行操作（如系统或设备的状态设置、隔离或解除隔离）所进行的独立核实工作。这种验证工作是与被验证活动的实施分开进行的。对维修工作而言，这种独立核实工作称为独立检查。

（撰写：蔡康元　审订：钱锦辉）

dupike gongyi

杜皮克工艺　Dupic process　用高温和机械手段把压水堆乏燃料不经分离而直接制成Candu堆燃料元件的过程。Dupic是英文 Direct Use of Spent PWR Fuel in Candu Reactors 的缩写。压水堆乏燃料通常含有 0.9% 的 ^{235}U 和 0.6% 的易裂变钚，适宜制成 Candu 堆燃料元件。压水堆燃耗通常为35000 MWd/t，经 Dupic 工艺，用于 Candu 堆后，可以得到一个大于 15000 MWd/t 的附加燃耗，可以充分利用铀资源。同时它也有利于禁产和核不扩散。Dupic 工艺比目前的水法后处理流程短，不产生液体废物。缺点是整个过程都具有很强的放射性，需要在屏蔽热室中操作，制成的燃料元件同样也有很强的放射性。目前该方法尚处于开发阶段。

（撰写：叶国安　审订：朱永賸）

du

钍　dubnium　一种人工放射性元素，化学符号Db，原子序数105，属周期系VB族。半衰期最长的同位素是 ^{262}Db (34s)。为纪念它的发现地杜布纳（Duban）而命名。1968年苏联Г.Н.弗廖罗夫（Флёров）等首次报道了用重离子回旋加速器加速的氖离子（^{22}Ne）轰击镅靶，通过 $^{243}Am(^{22}Ne,5n)^{260}Db$、$^{243}Am(^{22}Ne,4n)^{261}Db$ 核反应合成了Db的两种同位素。年美国A.吉奥索（Ghiorso）等报道了用重离子直线加速器加速的氮离子（^{15}N）轰击锎靶，通过 $^{249}Cf(^{15}N,4n)^{260}Db$ 核反应合成了 ^{260}Db。

（撰写：张志尧　修订：罗文宗　审订：崔安智）

duyue shijian yinzi

渡越时间因子　transit time factor (TTF)　粒子在渡越加速间隙的过程中，由于电场随时间变化，计入这种变化的粒子能量增益与不计入这种变化的粒子能量增益之比，称为渡越时间因子。也就是粒子渡越间隙时，由于电场随时间变化，而使粒子能量增益降低需作修改的因子。渡越时间因子的值总是小于1，与间隙几何尺寸、间隙电场分布形态和粒子速度大小有关。在设计确定加速间隙几何尺寸时，应在满足粒子共振加速和间隙电场不发生电击穿的前提下使渡越时间因子尽可能大，从而使粒子通过间隙时所获得的能量多，加速效率也就愈高。因此，渡越时间因子也是表征高频加速结构加速效率的重要参量之一。

（撰写：罗紫华　审订：王传英）

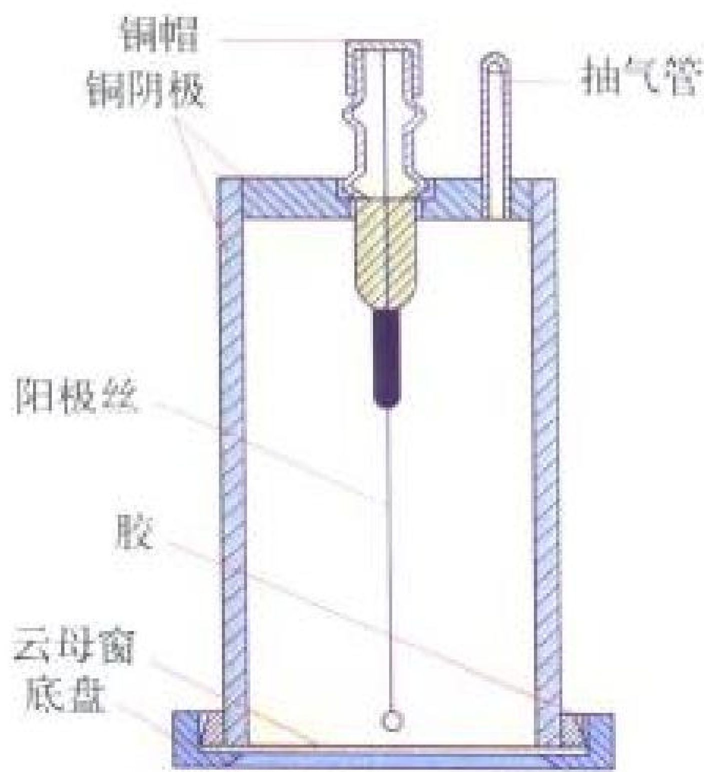
duqian chaodao xiezhenqiang

镀铅超导谐振腔　plating lead superconducting cavity　在无氧铜谐振腔内表面采用化学电镀法镀一层微米量级的铅膜。当整个腔体的温度低于铅的超导临界温度后，整个腔体呈现一个超导状态。主要用于重离子超导加速器，但是由于铅的射频超导性能较差，所以目前基本不再采用这种镀铅谐振腔了。

（撰写：赵夔　审订：王传英）

duanchuang jishuguan

端窗计数管　end-window counter　盖革计数管的一种，在管的一端开一薄窗，外形像钟罩，所以又叫钟罩计数管（见图）。钟罩末端封的窗较薄，有利于α及β粒子射入，主要用来测量α和β射线，窗材料一般用云母薄膜，为了使计数管性能稳定，云母窗与管身之间必须能保持高真空封接，一般用真空密封胶或低熔点玻璃粉进行封接。为避免窗上的静电影响，在



端窗计数管示意图

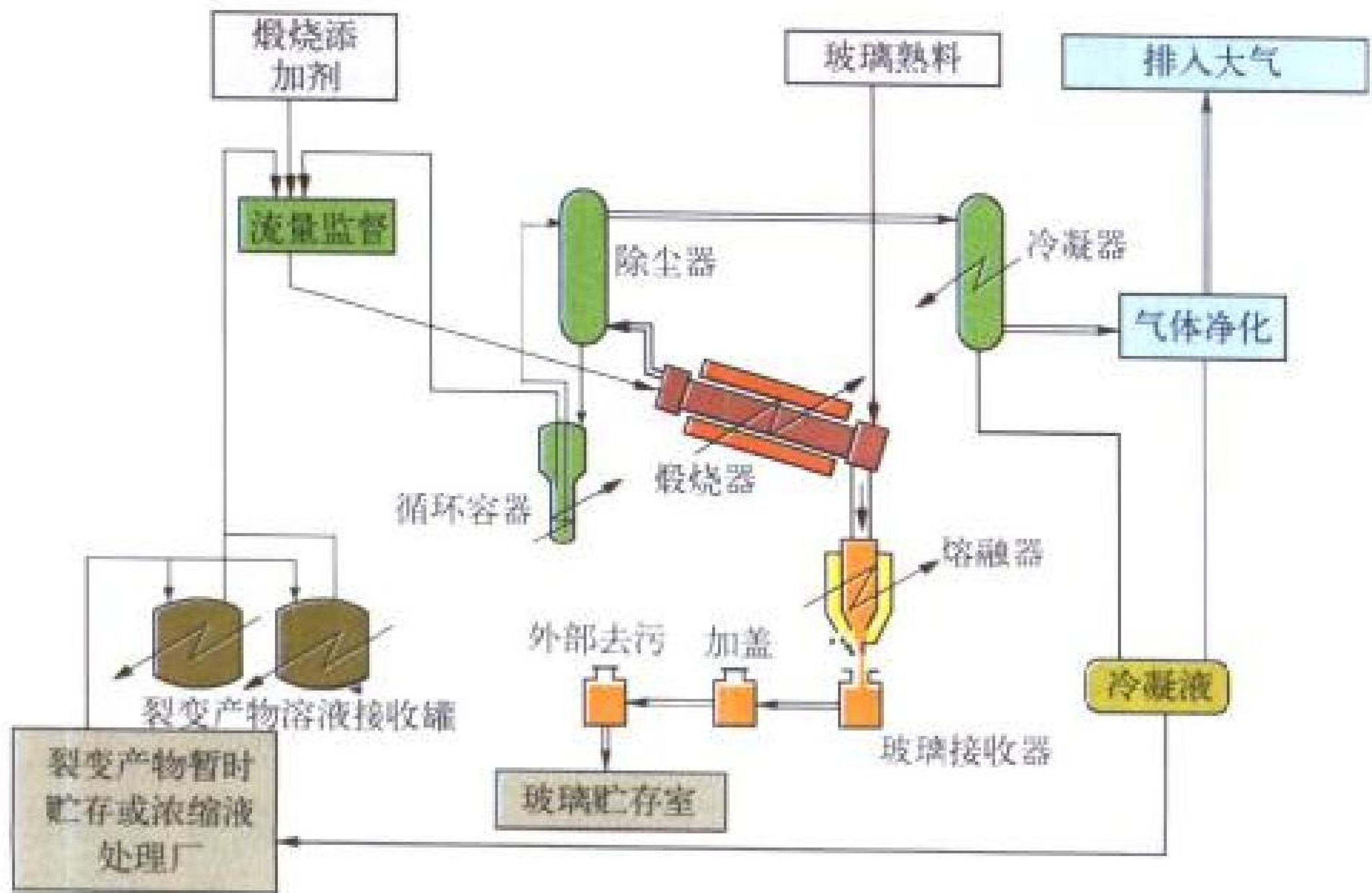
窗表面要镀上一薄层导电层。（撰写：肖文明　审订：彭华寿）

duanshouming dizhongfang feiwu

短寿命低中放废物　short lived low and intermediate level waste (LILW-SL)　从辐射观点考虑在规定的控制期内，所含的放射性核素将衰变到可忽略水平的低中放废物。全称短寿命低中水平放射性废物。短寿命放射性核素的半衰期通常为短于或等于 30 年。国际原子能机构 1994 年发布的《放射性废物分类》安全导则 No.111-G-1.1 规定，短寿命低中放废物中需限制长寿命放射性核素的浓度，即长寿命 α 辐射的放射性核素在单个废物包中不超过 4000 Bq/g，平均每个废物包不超过 400 Bq/g。短寿命低中放废物含有较高浓度的短寿命核素，只含有低浓度的长寿命核素，因此在控制期内，其放射性危害通过衰变作用能明显减少。短寿命低中放废物含的核素种类和浓度范围很宽，其处置方法可能从简单的填埋场填埋到有工程构筑物的近地表处置场处置，也可能作地质处置，取决于废物的危害水平。（撰写：罗上庚　审订：孙东辉）

duanshao ganying ronglu fa

煅烧感应熔炉法　calcination-induction heated melter process　高放废液首先在煅烧炉内蒸发浓缩和煅烧，然后与玻璃形成剂在感应加热的熔炉内熔制成玻璃固化体的方法。这是法国率先在 20 世纪 70 年代实现工业化的高放废液玻璃固化方法。它是在罐式玻璃固化法的基础上发展的，既保留了罐式法设备简单、便于操作的优点，又克服了罐式法处理能力小的不足，实现了连续操作（见图）。近十几年来，为进一步提高该法的处理能力，已经作了一些改进，例如在煅烧炉前加一“首端蒸发器”，高放废液首先在此蒸发器内浓缩，而煅烧炉仅用于干燥和煅烧；用冷坩埚代替感应加热熔炉，延长熔炉使用寿命等。（撰写：汤宝龙　审订：罗上庚）



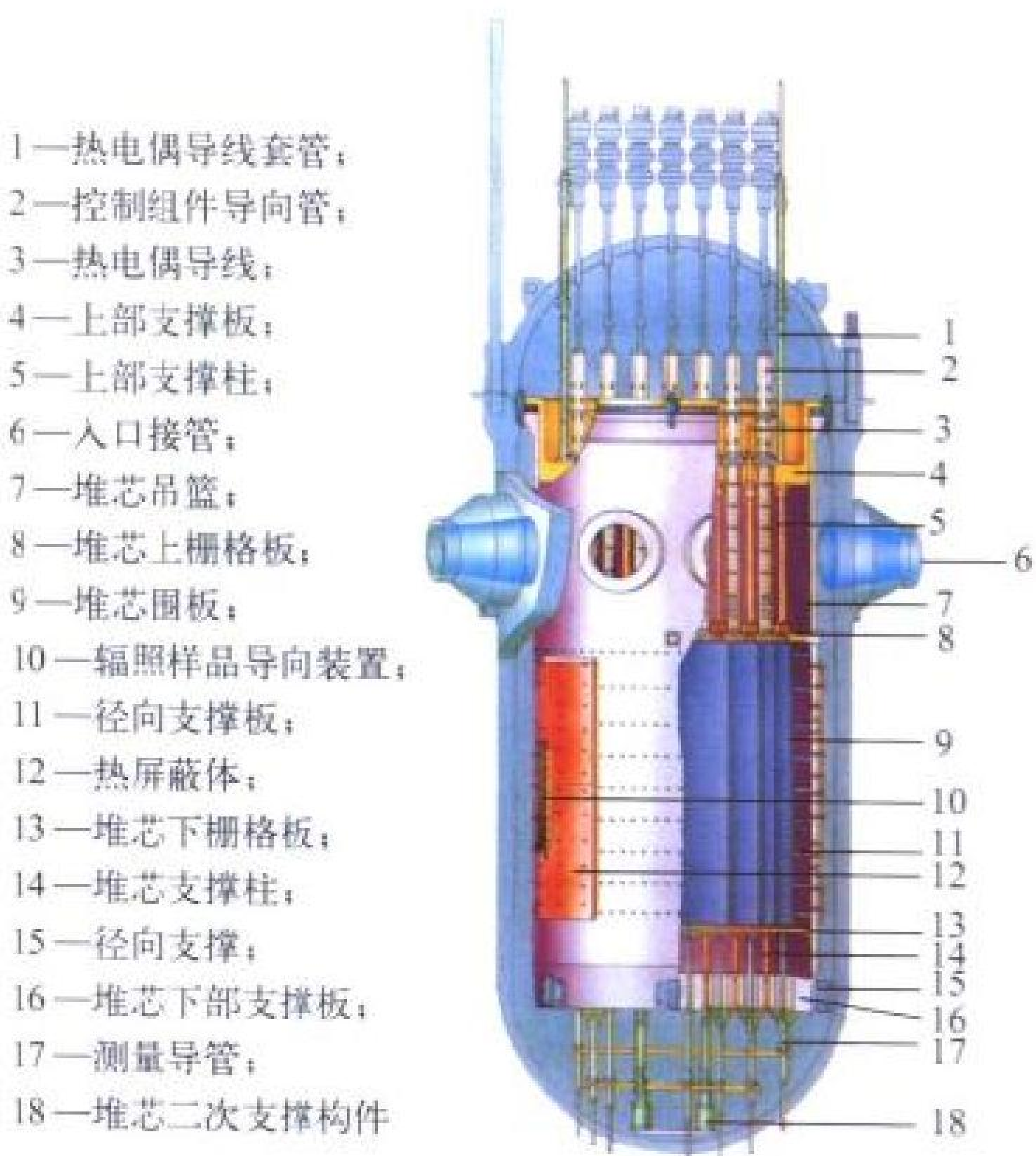
法国马尔库尔煅烧感应熔炉玻璃固化流程图

duiji panqi dianlu

堆积判弃电路　pile up rejection circuit　又称堆积抑制和反堆积电路。具有判别堆积和舍弃堆积这两个功能的电路。通常是先判断信号间隔是否过小，从而确定堆积是否发生。如果发现有堆积，则把有堆积的信号舍弃。在随机信号处理系统中，采用一套电路来判别和舍弃相继输入的随机脉冲信号中因波形重叠而使幅度发生畸变的信号。在核辐射能谱仪中，堆积判弃电路用来改善谱仪的能量分辨率，并降低因堆积而产生的本底。堆积判弃电路有多种设计，某种电路可能只适合于某一特定系统，使用时要注意。（撰写：倪建平　审订：席德明）

duinei goujian

堆内构件　reactor internals　在反应堆压力容器内除燃料组件及其相关组件以外的所有其他结构件。它的主要功能是：(1) 支撑和准确固定堆芯燃料组件；(2) 保持燃料组件与控制棒驱动机构之间的良好对中，保证控制棒能上下自由动作；(3) 形成冷却剂的流道，以有效地导出堆内产生的热量；(4) 为堆内测量仪表提供支撑和导向；(5) 保护压力容器，以减少中子辐照对它的危害。压水堆的堆内构件主要由堆芯下部支撑构件、堆芯上部支撑构件和堆内测量装置等组成（见图）。堆芯下部支撑构件由吊篮筒体与其下部的下栅格板组件连接构成，包括围板组件、流量分配板和下部的断裂缓冲装置等。堆芯上部支撑构件由支撑筒将压紧板与堆芯上栅格板连接构成。堆内测量装置包括堆芯中子注量率测量和堆内温度测量、水位测量。



压水堆堆内构件（连同压力容器）剖视图

（撰写：杜圣华　审订：潘系人）

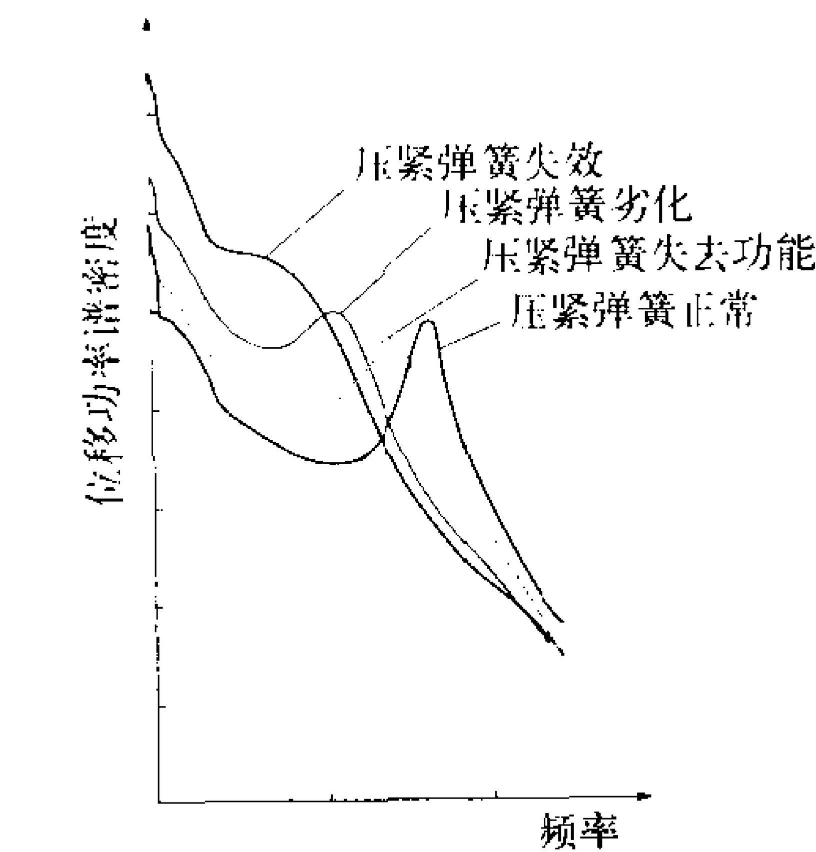
duinei goujian cailiao

堆内构件材料　materials for reactor internals　用以制造反应堆压力容器内除燃料组件及其相关组件以外的所有其他结构件的材料。压水堆堆内构件材料使用最多的是 AISI304 不锈钢，其次为 316 不锈钢、碳化物稳定型的 347 不锈钢和 321 不锈钢。

（撰写：张裕林　审订：杜圣华）

duinei goujian zhendong jiance xitong

堆内构件振动监测系统 vibration monitoring system of reactor internals 根据压力容器外的中子噪声特征及压力容器的振动特征来监测反应堆堆内构件和燃料组件振动状态的系统。设置该系统是为了监测反应堆堆内构件（如：吊篮、热屏蔽和堆芯上、下支撑件等）的劣化，防止发生异常现象。该系统是根据与结构振动模态相对应的振动峰值进行长期识别、特性记述和检测。结构劣化由频率、峰值的量级与形状变化表现出来（见图）。另外，根据经验，结构劣化在时间上进展缓慢。预先标定好每个峰值和对应的频率值，当设定的报警阈值被超过时，就能有效地检测到异常现象。该系统的关键技术在于要具有高分辨率、低噪声的监测设备和软件以及专家诊断经验。 （撰写：姚伟达 审订：张维忠）



在压紧弹簧变化情况下吊篮振动特性改变例子（在模型中获得的结果）

duinei wendu celiang

堆内温度测量 in-core temperature measurement 堆芯冷却剂、燃料和反应堆结构的温度的测量。商用压水堆核电厂常用耐辐照的铠装热电偶作敏感元件，将它们安装在各燃料组件冷却剂出口来监测堆芯径向热功率分布，并配以冷却剂系统压力测量值，计算出堆芯的欠热裕度，作为事故后监测的重要参数。压水堆核电厂的堆内温度测量是多重的，包含两个系列。有的试验堆（如脉冲堆）监测燃料元件芯体温度，有的试验堆则监测燃料元件壁面温度。 （撰写：赵善德 审订：孙玉发）

duixin gonglü midu

堆芯功率密度 power density in-core 又称堆芯释热率或堆芯体积比功率。反应堆堆芯平均单位体积所产生的热功率。常用单位是 kW/m^3 或 kW/L。核反应堆堆芯的释热率极高，必须要有有效的冷却来保证反应堆的安全。不同反应堆的堆芯释热率各不相同，压水堆的堆芯释热率容许接近 100 kW/L，而气冷反应堆则只有约 2～6 kW/L。

（撰写：马昌文 审订：李金才）

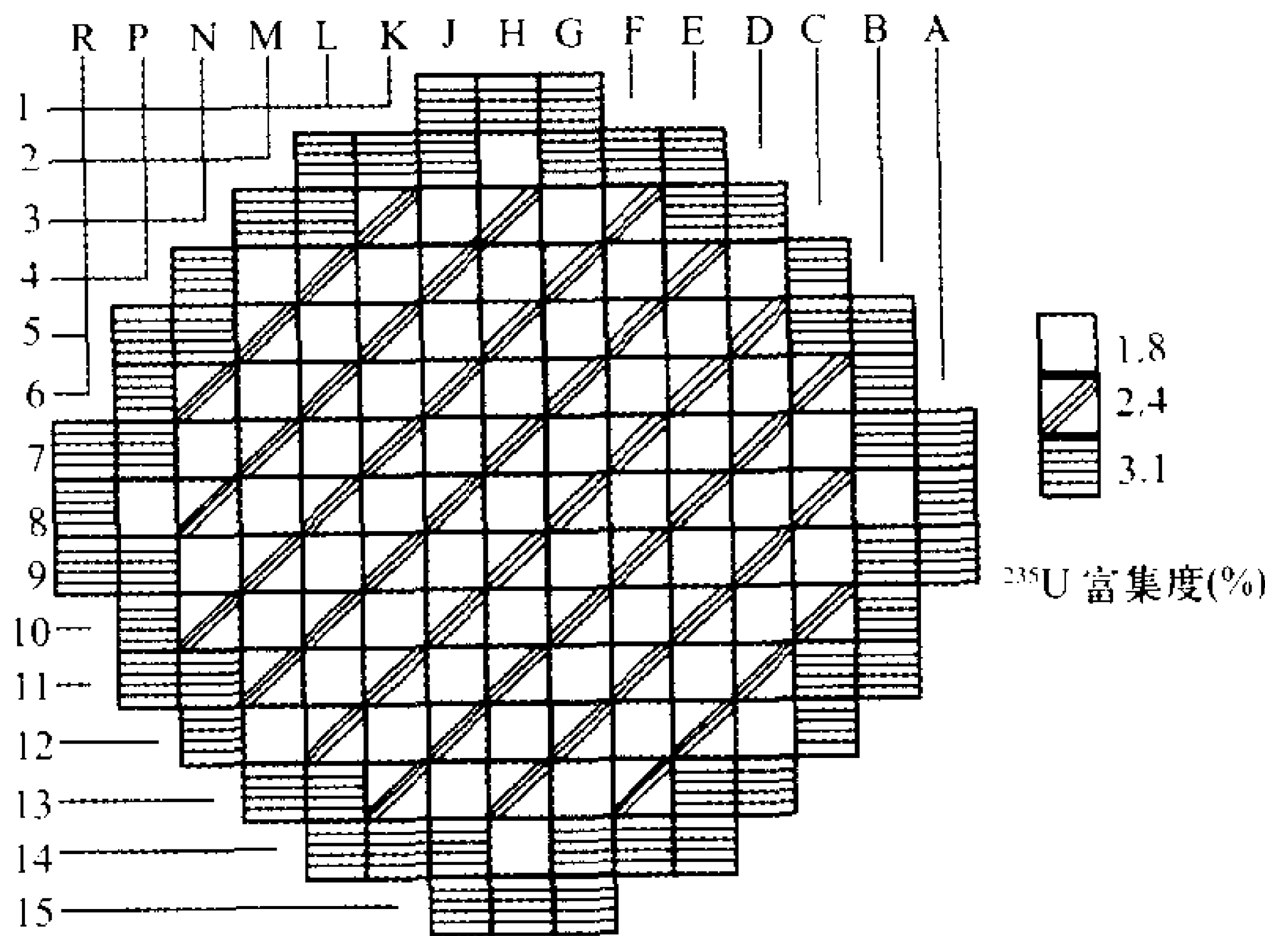
duixin liuliang fenpei

堆芯流量分配 core flow distribution 进入堆芯的冷却剂在堆芯内为数众多的相互并联的通道内的流量分配。就压水堆而言，造成各通道流量不相同的原因主要有：(1) 进入下腔室的冷却剂流动形成的涡流区使各通道进口处的静压力各不相同；(2) 各通道在堆芯或燃料组件中所处的位置不同，其流通截面的几何形状和大小也可能不完全一样；(3) 燃料元件和燃料组件的制造、安装的偏差使冷却剂通道流通截面的几何形状和大小偏离设计值；(4) 各通道中释热量不同导致各通道内冷却剂的温度不同，从而使流动阻力产生差别。堆芯流量分配的准确数据很难由理论分析获得，主要靠反应堆整体水力模拟试验测量得到。

（撰写：于平安 修订：郝老迷 审订：陈玉宙）

duixin ranliao guanli

堆芯燃料管理 reactor core fuel management 在保证反应堆有足够的安全可靠性的前提下获得最佳的比燃耗、降低燃料成本和改善反应堆的运行性能，以及尽可能降低反应堆压力容器所受的快中子注量而进行的技术经济分析和管理工作。主要是确定首炉堆芯装载方案，选择后续循环（包括过渡循环和平衡循环）最佳的换料周期和换料方案。其中燃耗计算和功率分布分析是堆芯燃料管理的基本环节。首炉堆芯装载方案涉及到燃料组件类型和装载量的确定、燃料富集度的选取和分区的布置、可燃毒物的装载量及其布置方案以及控制棒组件的数量、分组和布置等（见图）。一个良好的首炉装载设计不仅符合燃料的、物理的和热工水力的设计准则，而且也同时满足核电厂总体设计和运行的要求，在安全性和经济性两方面都要兼顾。换料周期是指反应堆邻近两次换料之间的时间间隔。换料方案是指部分换料时解决以下问题：(1) 需要更换的燃料组件的份额；(2) 其余继续留在堆内的组件的重新布置；(3) 新装组件的布置方案等，要求在保证核安全的前提下使燃料成本达到最低。在压水堆核电厂的换料方案中，按照新燃料入堆后所经历的循环次数，通常有 1/3 换料和 1/4 换料两种；按照新燃料入堆的布置，通常有由外向内和由内向外两种（参见核燃料管理）。 （撰写：唐富初 审订：杨传德）



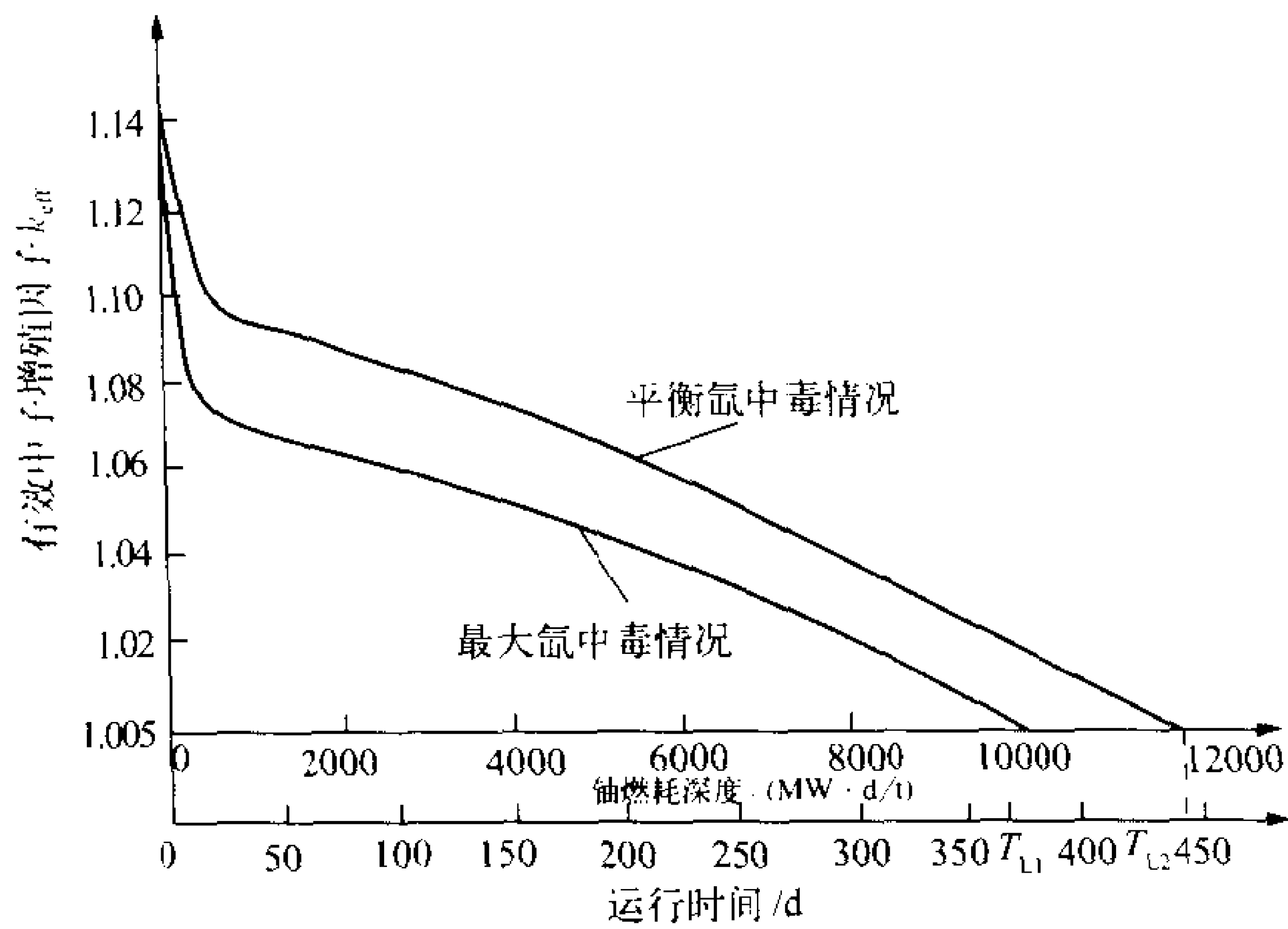
核电厂一种首炉堆芯装载图

duixin ronghua shigu

堆芯熔化事故 core melt accident 反应堆堆芯熔化导致大量放射性释放的严重事故。它分为低压熔堆与高压熔堆两种。低压熔堆过程是：以一回路破口为先导，冷却剂从破口流失，应急堆芯冷却系统失效，造成燃料元件裸露升温，锆包壳与水蒸气发生化学反应放出热量和 H_2。堆芯水量进一步减少后，堆芯开始自上而下熔化，直至将压力容器下封头熔穿。熔融物随后与安全壳底板混凝土相互作用，释出 CO_2、CO、H_2 等不凝气体并放出热量，可能造成安全壳晚期超压失效或底板熔穿事故。高压熔堆过程是：以失去热阱为先导，主系统升温升压，直至到达稳压器释放阀开启定值，阀自动开启排汽。如二回路系统不能恢复热阱，一回路系统又失去强迫注水能力，则释放阀会持续启、闭循环，使主冷却剂不断丧失，堆芯在较高压力下开始裸露并熔化。此后的过程可能与低压熔堆过程相似；也可能在压力容器下封头熔穿后造成"直接安全壳加热"，使安全壳超压失效。与低压熔堆相比，高压熔堆时安全壳完整性破坏较早，后果更严重，应采取措施予以避免（如转为低压状态）。 （撰写：俞尔俊 审订：陈叔平）

duixin shouqi

堆芯寿期 reactor core lifetime 一个新堆芯或换料后的堆芯在满功率运行条件下有效中子增殖因子（k_{eff}）降到1时的时间（见图）。反应堆投入运行后，由于燃耗效应，其有效中子增



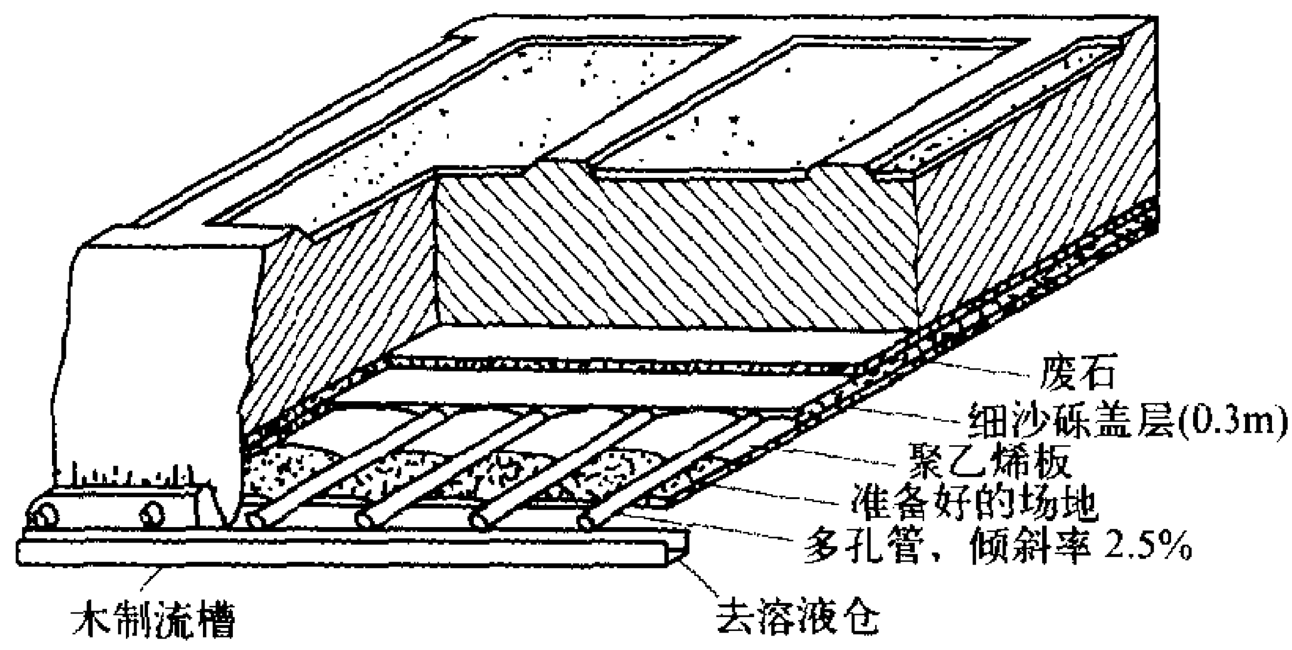
有效中子增殖因子随燃耗变化曲线

殖因子（或后备反应性）将不断减小。为了补偿燃料消耗等因素引起的反应性变化，保证反应堆能在额定功率下达到预定的稳定运行时间，新堆的初始装料（或换料）必须比临界装载量多，使其k_{eff}较大。在压水堆核电厂中初始后备反应性是用控制棒、可溶毒物和可燃毒物来补偿的。

（撰写：唐富初　审订：杨传德）

duizhi jinchu

堆置浸出 heap leaching 将开采出的矿石堆积在一个经特殊处理的场地上，用酸性或碱性的溶浸剂喷洒在矿堆表面，并借重力向下流经矿层，以达到溶解有用组分的一种浸出方法（见图）。该法的优点是投资费用低，废液量少，易与细菌浸



常用的堆浸示意图

出结合。堆浸对矿石矿物学特征的依赖比常规搅拌浸出更大。欲扩大其应用，需改进堆的结构、喷淋系统和操作方法，使溶浸剂与矿石更好地接触，更有效地控制介质pH和氧化条件，以及避免硫酸钙和粘土的干扰等。还必须提出解决环境污染问题的更加完善的措施，包括堆浸结束后尾矿的妥善处置。

（撰写：夏润身　审订：赵锡熊）

duichenxing

对称性 symmetry 物体和运动规律在某种变换下的不变性。它是物理学中一个十分重要的概念。对称性可分为时空对称性和内秉对称性，前者对应于经典的时空变换；而后者指粒子内在广义坐标上的变换，没有经典对应。对称变换又可分为连续变换和分立变换。连续变换对应的是相加性守恒量；而分立变换对应的是相乘性守恒量。常见的对称性如物理规律在时间平移、空间平移、空间转动等变换下的不变性，它们分别对应着能量守恒、动量守恒、角动量守恒等。还有一个重要的变换是空间反演，即宇称变换。大部分相互作用规律在宇称变换下不变，即满足宇称守恒。但在弱相互作用过程中宇称不守恒，这是由美籍华人科学家李政道和杨振宁于1956年首先提出，而由吴健雄等人于1957年初首先验证的。这种对称性破缺的现象在物理学的发展中具有重大的意义。除时空对称性外，物理规律还具有许多内秉变换下的对称性。典型的如正反粒子变换、电荷规范变换、同位旋空间转动等。

（撰写：叶沿林　审订：卢希庭）

duishu maichong fangdaqi

对数脉冲放大器 logarithmic pulse amplifier 一种输出脉冲幅度是输入脉冲幅度的对数函数的脉冲放大器。通常这种放大器利用某些器件或网络的对数特性来模拟对数函数。输入信号经过对数函数转换器，使转换器的输出信号幅度与输入信号幅度的对数成正比。对数脉冲放大器在大量程的测量中被广泛应用，例如用于测量反应堆中子注量率的周期计中，用于具有对数全谱显示的多道分析器中。一般要求对数脉冲放大器在大的量程范围内具有良好的对数特性，而且温度稳定性高。

（撰写：李　政　审订：席德明）

duishu pingjun wencha

对数平均温差 logarithmic mean temperature difference 计算热交换器传热量时热流体与冷流体之间的等效平均温差。当热流体将热量传给冷流体时，沿热交换器各处热流体与冷流体的温差是变化的。为了计算方便，要用一个能够代表整个热交换器传热情况的平均温差。对于简单的顺流或逆流热交换器，推导出来的对数平均温差为

$$\Delta t_m = (\Delta t_{max} - \Delta t_{min}) / \ln(\Delta t_{max} / \Delta t_{min})$$

式中 Δt_{max} 和 Δt_{min} 分别是热交换器两端温差的较大者和较小者。在实际的热交换器中，冷、热流体的流动大多不是简单的顺流或逆流，将假想逆流对数平均温差乘上一个修正因子来求得其计算用的对数平均温差。

（撰写：厉日竹　审订：彭木彰）

duizhuangji

对撞机 collider 在同步加速器基础上发展起来的一种超高能试验装置。以前，人们总是用相对论速度的粒子轰击静止靶，进行粒子物理试验。然而在这样的作用方式中质心系统中只有一小部分能量可用于产生新粒子或种种有意义的反应。如果变化一下作用方式，让两个相向运动的高能粒子束对头碰撞，那么有效的作用能量将远比前一种方式高得多。在一般情况下，粒子束的密度远低于静止靶，因而通过对撞发生的反应产率太低，不能进行有效的实验。为了克服这种困难，发展了一种能通过聚积大量粒子束团，以提高束流密度的“储存环”。用来使粒子束对头碰撞的对撞机，包括一个或数个储存环。电荷相反的高能粒子，如电子和正电子、质子和反质子可以在同一储存环中反向回旋而发生对撞。电荷相同的粒子束，就需用两个“交叉”着的储存环。每一环内各有一束粒子，但回旋的方向恰好相反。在二环交叉点上，粒子束发生对撞。为了在同一机器上实现多种粒子间的对撞，还提出了所谓“三环”的方案。即用两个环储存质子束，用一个环储存正负电子束。三个环同心地安装在一个圆形隧道

中；在一定的地点上可以得到质子、质子—电子或正负电子之间的对撞。 （撰写：陈佳洱　审订：关遐令）

dungan gaoneng zhayao

钝感高能炸药 insensitive high explosive(IHE) 对撞击、摩擦、冲击波、热、静电火花等外来刺激极不敏感，难以由燃烧转为爆轰的炸药。核武器中用钝感炸药代替普通炸药能大大减少核武器在运输、贮存、训练中发生钚散落的危险，提高安全性能。所以在核武器中有普遍采用钝感炸药的趋向。但钝感炸药的爆热只有普通炸药的三分之二左右，因此引爆核弹所需炸药的用量将增大。另外，钝感炸药的难于起爆也意味着易于熄火。因此，钝感炸药研制及其爆轰性能研究是当前核武器物理的研究重点之一。

（撰写：郑绍唐　审订：徐通新）

duoceng fenlimo

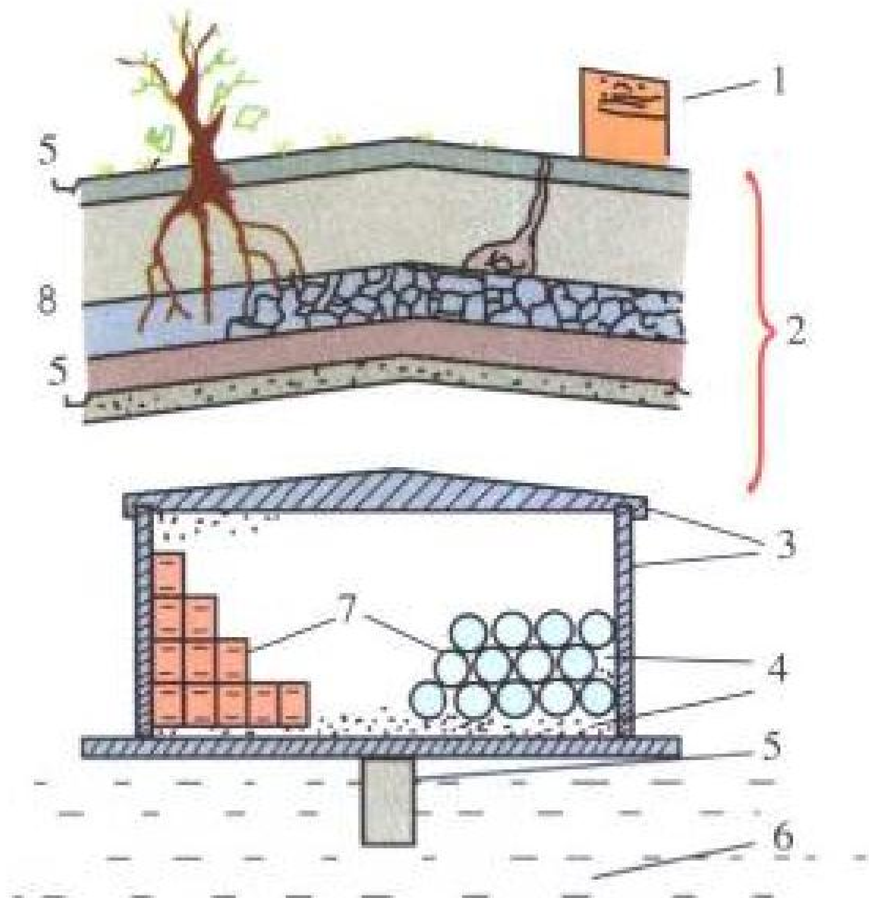
多层分离膜 complex barrier 又称复合分离膜。由多层不同结构的多孔膜紧密叠合组成的分离膜。气体扩散工厂使用的为双层分离膜。对分离膜既要求分离性能及通过能力均好，即平均孔径要小、单位面积的微孔数量要大且分离膜厚度尽可能薄又要求具有相应的承压能力。为解决这一对矛盾，单层分离膜的技术发展产生了双层(复合)分离膜。将气体压力高的膜前一侧(管状分离膜的内层)安排为承担分离任务的细层分离膜，使它尽可能满足前一项要求；在气体压力低的外侧(管状分离膜的外层)则安排为负担承压任务的粗层分离膜，它的平均孔径比细层要大得多。由于采用双层复合分离膜，细层分离性能经过改进得到明显提高，且又利用粗层满足了承压要求。双层复合分离膜技术的应用，为气体扩散工厂扩散机分离功率的大幅度提高打下了基础。

（撰写：谢庄应　审订：应纯同）

duochong pingzhang xitong

多重屏障系统 multibarrier system 放射性废物与人类生活环境之间由两个或两个以上独立的隔离屏障组成的系统(见图)。该系统用于隔水、隔气，阻滞放射性核素的迁移，保证放射性废物处置的安全。多重屏障系统包括工程屏障和天然屏障两部分。工程屏障由废物体、废物包装容器、回填材料、处置单元构筑物覆盖层等组成;天然屏障由相对封闭的地质单元组成。在确保达到总体隔离效能的前提下，各个屏障的效能可以相互补偿。各个屏障并非同步失效，但总体效能随时间的变化应满足放射性废物安全处置的要求。

（撰写：黄雅文　审订：陈　式）



低中水平放射性废物处置的多重屏障系统示意图

1—标志；2—覆盖层；3—处置单元构筑物；4—回填材料；5—防排水系统；6—地质介质；7—废物体和包装桶；8—防动植物侵扰层

duochong suilie fanying

多重碎裂反应 multifragmentation reaction 高能粒子与原子核发生反应，产物包含多个核碎片的反应过程。由于入射粒子能量相当高，靶核被打碎，产生很多核子、离子及多个质量较大的碎片。裂变过程只产生两个碎片，而多重碎裂反应会产生多个碎片。在理论上可以用蒙特卡罗方法模拟核内级联过程，用统计理论研究热核的多个碎片发射。GeV 以上高能区的中重核和重核的核反应一般为多重碎裂反应。

（撰写：申庆彪　审订：许谨诚）

duochong xing

多重性 redundancy 为完成一项特定安全功能而采取多于最少套数的设备，即多重性，也称冗余性。它是提高安全重要系统的可靠性并借以满足单一故障准则的重要设计原则。在运用多重性原则的条件下，一套设备出现故障或失效是可以承受的，不致于导致功能的丧失。

（撰写：俞尔俊　审订：董柏年）

duoci mingzhong

多次命中 multi-hit 同一探测单元在特定的时间间隔(例如对撞机的对撞周期)内被多于一个粒子(或核辐射)所击中的现象。由于探测单元本身分辨能力的限制，多次命中现象往往产生信号的堆积。能够处理这类信号的电路称为具有多次命中功能的电路。 （撰写：倪建平　审订：席德明）

duodao fenxiqi

多道分析器 multi-channel analyzer 用来分析随机信号某一参数的概率密度谱的具有几百、几千个分类间隔(道)的核电子学仪器。它有两种主要类型：(1)分析脉冲幅度概率密度的多道脉冲幅度分析器，包括：由谱仪模数变换器、存储器、显示器和控制器组成的全硬件多道幅度分析器；以微处理器或单片机为基础做成的智能多道分析器；由谱仪模数变换器、数据获取接口、通用计算机以及有关多道分析仿真软件和数据处理软件组成的计算机多道分析器等。(2)分析两信号源脉冲间的时间间隔概率密度的多道时间分析器，它由时幅变换器和多道幅度分析器组成，或将时间参数直接变换成数码送到多道分析器接口来实现，用于测量粒子寿命或中子飞行时间等。多道分析器还有其他多种类型的数据获取和表示方式，如多定标器分析、脉冲间隔分析、多计时器分析、采样分析等。多道分析器的道数由所能实时存储的参数代码长度决定。同一种参数代码存入同一道中，每道通常占四个字节以上。多道分析器的精度取决于输入部分的模数变换器、时间—数字变换器或时幅变换器。目前为便于使用这些部件都做成了 NIM 插件或 CAMAC 插件。

（撰写：倪建平　审订：席德明）

duo guangzi lijie

多光子离解 multiphoton dissociation 分子相继吸收多个激光光子后发生化学键断开，形成游离态原子的过程。分子多光子离解有单频激光多光子离解和双频激光多光子离解。这两种离解过程具有不同的离解率(每个分子对一个激光脉

冲的离解概率）阈值。不同的激光频率，离解率不同，因此分子的离解率具有共振特性。

（撰写：王德武　审订：应纯同）

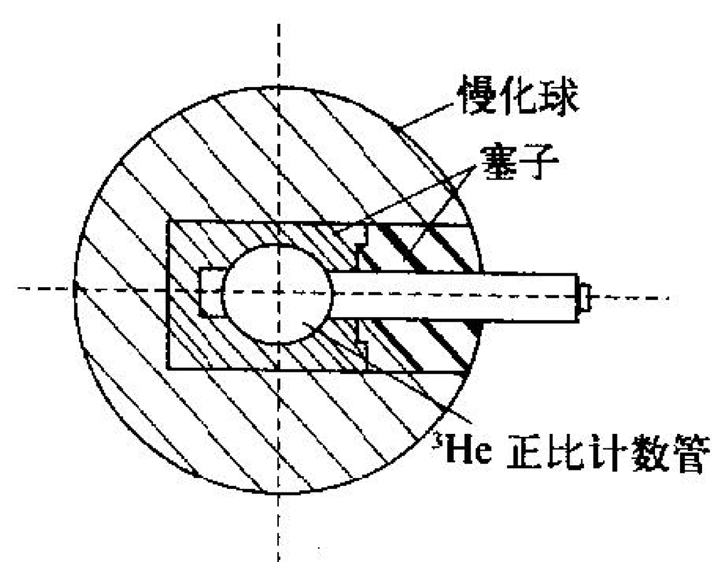
duo liebianti cilinjie anquan shiyan

多裂变体次临界安全实验　multi-fissile body subcritical safety experiment　测定两个以上裂变体系统的次临界度的实验。在核武器的研制、生产、运输、贮存中往往存在两个以上裂变体紧靠一起或已装配成含裂变材料的核武器在狭小的空间中排列一起，使原来孤立时分别为次临界状态的裂变体系统达到临界状态的情况，本实验的目的是测定各种可能出现危险环节的次临界度以保证核武器的生产乃至使用中的次临界安全。在上述多体相互作用情况下，系统的中子反射及介质慢化比较复杂，次临界度很难靠理论计算得到，需要进行实验加以判断。多体次临界安全实验的方法基本上可以归纳为如下三类：(1) 建立模拟系统，包括反应性相当的缩小模拟系统，采用中子增殖外推法测量系统的次临界度。(2) 相互作用参数法。所谓相互作用参数 q 定义为邻近裂变体发出的中子到达的概率 P 乘以表面增殖 m，即 $q=Pm$。知道了 q 就可以利用理论来求整个系统的次临界度。实验方法采用一个中子源模拟邻近裂变体来测量待测裂变体的相互作用参数。这种方法是 D.C.Dowson 和 A.F.Thomas 提出的。方法十分简单，只要用较少的裂变材料，但实验条件十分苛刻，误差很大，使应用范围受到很大限制。(3) 中心增殖消差法。对于单体反应性较大，数量不太多的多体裂变系统，发展了一种中心增殖消差法，即在一个主要裂变体中心放置一个中子源，测量在邻近存在相互作用裂变体和无相互作用裂变体情况下中心增殖之差来确定相互作用参数 q。若有相互作用时中心增殖为 m_c，而当无相互作用时，中心增殖降为 m_c^0，理论分析可得相互作用参数 $q=\sqrt{\dfrac{m_c-m_c^0}{m_c}}$。同样，可以得到存在第三个“屏蔽”裂变体和二者之间存在慢化剂介质情况下类似关系式。这种方法可以更方便地模拟核武器在狭窄空间贮存，多弹头或发生浸水事故的状态，判断系统在这些情况下的次临界安全度。当然，除了上述三种实验方法之外，还可以进行就地实验测量。但就地实验受条件的限制大，实验结果的准确性也较差。

（撰写：赖祖武　审订：郑绍唐）

duoqiu puyi

多球谱仪　multisphere spectrometer　主要用于测量中子能谱的装置。它由直径不同的聚乙烯球作为慢化体，中心置有一个热中子探测器组成（见图）。由于慢化体厚度不同，对同一个中子场，该探测器有不同的计数响应，通过记录到这些响应，采用解谱程序，可以测出中子场的能谱。该谱仪 20 世纪 60 年代初由美国 T.W.Bonner 等人首先使用，故也常称 Bonner 球。慢化体的直径各实验室均习惯以英寸 (in) 表示，通常采用 2.0，2.5，3.0，3.5，4.0，5.0，6.0，8.0，10.0，12.0，14.0 in 等，各使用者根据测量能区不同，略有差别。慢化体为高密度聚乙烯，其密度值 0.92～0.96 g/cm³。中心探测器早期主要用 ^{6}LiI (Eu) 晶体加上光电倍增管。^{6}LiI 有极强的吸水性，易于潮解，性能退化。且其晶体为圆柱形，再加上光电倍增管，故其响应与角度关系较大，并且对 γ 射线比较灵敏。目前，多采用球形 ^{3}He 正比计数管，它方向性好，灵敏度高，稳定性好，仪器设备要求简单。在一些特殊情况下，中心探测器也时有使用活化片。该谱仪适用于从热中子到能量为几十兆电子伏的中子，但其能量分辨较差，故多用于核设施泄漏中子谱测量，它可以同时给出周围剂量当量，如果其效率经过校准，也可以用单球作中子注量率测量。



多球探测器示意图

（撰写：容超凡　审订：丁声耀）

duoqun moxing

多群模型　multi-group model　将具有连续能量分布的中子划分为多个能群，每个能群内的中子输运按单能方法处理的模型。将最高能量记为 E_0，最小能量记为 E_G。将该区间划分为 G 个能区：(E_0, E_1)，(E_1, E_2)，…，(E_{G-1}, E_G)。每个能量区间称为一个能群，每个能群用适当的平均参数（群参数）来表示。这样，每个能群均相当于单能中子，群与群之间通过中子转移截面进行耦合，使问题得到简化。原来依赖于连续能量的中子扩散方程就离散为 G 个与能量无关的单能联立扩散方程组。

（撰写：薛小刚　审订：史永谦　许汉铭）

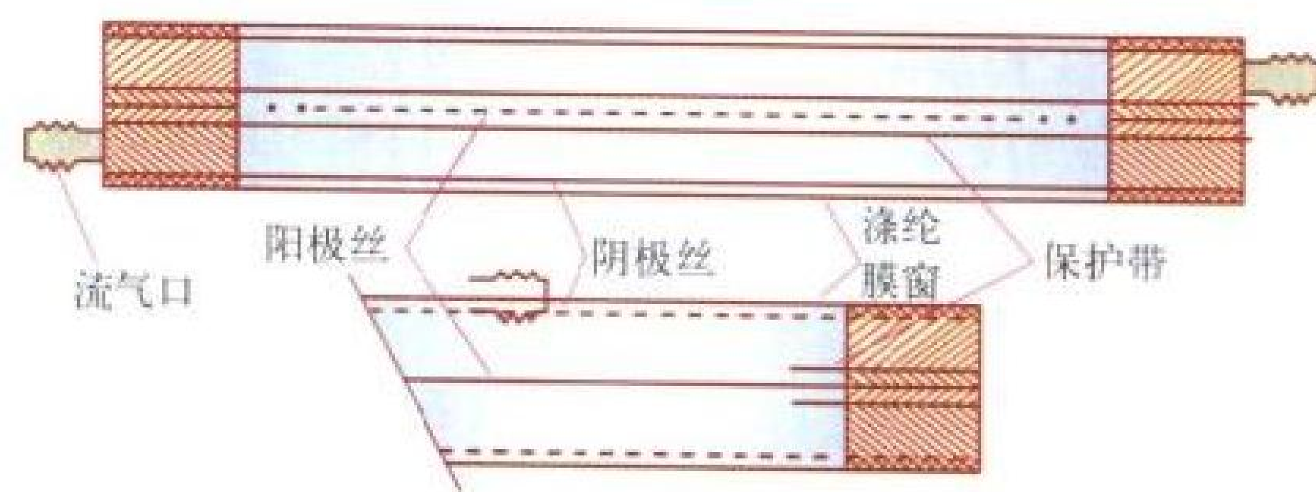
duoshu luoji

多数逻辑　majority logic　判断信号在时间上符合的输入端数目的电路。当在时间上符合的输入数目等于或大于某预置值时，该电路将产生一个输出。至于是哪几个输入信号在时间上符合则是无关紧要的。

（撰写：倪建平　审订：席德明）

duosi zhengbishi

多丝正比室　multi-wire proportional chamber　由多根金属丝组成电极并工作在气体放电正比区的位置灵敏探测器。它由一阳极丝平面位于两个阴极平面之间构成一个室（见图）。工作气体为惰性气体加一定比例的多原子气体，工作气体多采用流气式。位置读出方法有单根丝编组读出法、阴极延迟线读出法、感应信号重心读出法以及电荷分配法等。多丝正比室是在高能物理实验的需要和多丝火花室的技术启发基础上发展起来的。20 世纪 60 年代中后期，由于高能加速器的发展，基于光学原理的粒子径迹探测器难于满足要求，而多丝正比室与当代电子技术相结合，可以满足确定粒子径迹走向、事例选择以及大统计量的在线实时实验要求，为当代高能物理实验所需要，从而得到迅速发展。随着它的发展，多丝正比室还在其他科学技术领域，如晶体结构分析（如粉末晶体结构分析、生物大分子结构分析、中子衍射分析等），生命科学，医学以及核物理，重离子物理等方面得到应用。在它的发展过程中，人们又延伸发展了如多级雪崩室、正比闪烁电离室以及时间扩展室等新型辐射探测器。



多丝正比室示意图

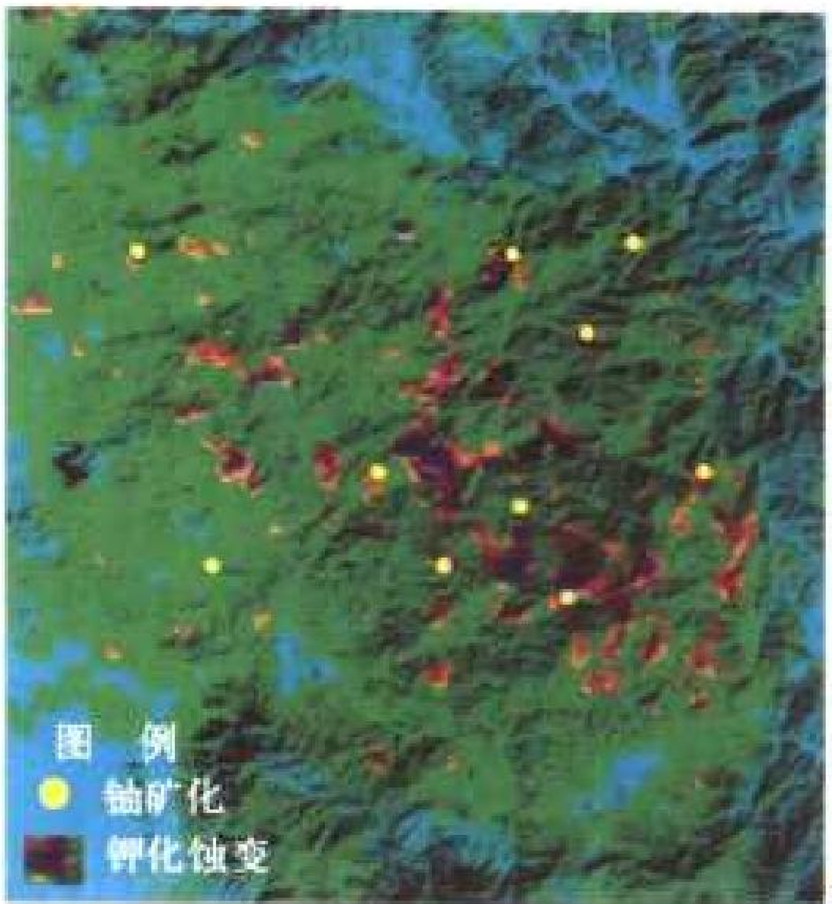
（撰写：彭华寿　审订：陈玉华）

duoyang xing

多样性 diversity 为执行某一确定功能设置多重部件或系统，这些部件或系统总起来说，具有一个或几个不同属性。例如：不同的工作原理，不同的物理方法，不同类型的设备、不同的制造厂，不同的运行条件等。采用多样性原则能减少某些共因故障的可能，从而提高某些系统的可靠性。应该核查这类潜在故障的原因，以确定在何种场合下能有效地应用多样性原则。 （撰写：俞尔俊 审订：董柏年）

duoyuan xinxi fuhe jishu

多源信息复合技术 multi-information integration technique 以计算机遥感数字图像处理技术和地理信息系统为基础，应用遥感、计算机、数字信号处理、多元统计分析等手段综合处理不同学科多种资料的新技术。处理方法包括复合、叠合和融合三种基本方式。在地学研究中，可将遥感、地质、物探、化探、地形等专业数据、图件资料、通过计算机综合处理、生成专题化综合数字图像，有利于充分发现新的地学信息。如在下庄铀矿田TM和航空四道γ能谱数据融合图像上，发现钾化蚀变沿北北东向主干断裂展布，铀矿床多定位在钾化蚀变区。



下庄铀矿田光—能谱融合图像

（撰写：何建国 审订：黄贤芳）

D



Eluosi hewuqi

俄罗斯核武器 Russian nuclear weapons 前苏联／俄罗斯研制、生产和部署的核武器。前苏联／俄罗斯是世界上第二个拥有核武器的国家，自 1949 年 8 月首次原子弹试验成功以来，共设计了 75 种以上不同类型的核弹，进行过 715 次核试验，核弹库存量最多时（1986 年）达到 45000 个，到 2000 年尚有 20000 个。俄罗斯现装备的核武器包括战略核武器、战术核武器及防御性核武器三大类（见图）。战略核武器包括陆基洲际弹道核导弹、潜射弹道核导弹和战略轰炸机及其携带的核武器，约 6000 个核弹。陆基洲际弹道导弹有五种型号，共 756 枚：SS–18（180 枚）、SS–19（150 枚）、SS–24（46 枚）、SS–25（360 枚）和 SS–27（20 枚）。潜射弹道导弹有三种型号，共 348 枚：SS–N–18（176 枚）、SS–N–20（60 枚）和 SS–N–23（112 枚）。运载核武器的战略轰炸机有图–95 和图–160，共 69 架，可携带 AS–15 空射巡航核导弹、AS–16 近程攻击核导弹和核炸弹。战术核武器包括地对空导弹和各种飞机携带的核炸弹、巡航导弹以及反潜导弹，约 4000 个核弹头。战略防御性核武器有“橡皮套鞋”反弹道导弹系统，包括内大气层拦截弹 SH–08（64 枚）和外大气层拦截弹 SH–11（36 枚）。俄罗斯研制的新型 SS–27 核导弹的射程为 10500 km，计划在 2000 年以后每年至少生产 35～45 枚，在 21 世纪头 10 年内将部署 300～350 枚，到 2010 年，将用 SS–27 核导弹取代其他几种陆基洲际弹道核导弹。同时，还在研制“台风”级核潜艇及装备这种核潜艇的新型潜射弹道导弹。

俄罗斯核武器系统（截至 2000 年）

武器系统	数量	首次部署（年 份）	核弹头数 × 威力（万吨）TNT 当量 × 类型	核弹总数量
陆基洲际弹道导弹	756			3540
SS-18	180	1979	10 × 55/75 × MIRV	1800
SS-19	150	1979	6 × 55 × MIRV	900
SS-24MI/MII 型	36/10	1987	10 × 55 × MIRV	460
SS-25	360	1985	1 × 55	360
SS-27	20	1998	1 × 55	20
潜射弹道导弹	348			1576
SS-N-18MI 型	176	1978	3 × 50 × MIRV	528
SS-N-20	60	1983	10 × 20 × MIRV	600
SS-N-23	112	1986	4 × 10 × MIRV	448
战略轰炸机	69			790
图 - 95 MS6	29	1984	6 枚 AS-15A ALCM 或核炸弹	174
图 - 95 MS16	34	1984	16 枚 AS-15A ALCM 或核炸弹	544
图 -160	6	1987	12 枚 AS-15BALCM 或 12 枚 AS-16 SRAM 或 12 个核炸弹	72
战术核武器				约 4000
地对空导弹	1200			1200
陆基飞机	400			1600
海基飞机	140			500
巡航导弹				300

注：AS 为空对地导弹，ALCM 为空射巡航导弹，SRAM 为近程攻击导弹。



俄罗斯核武器博物馆陈列的各种核武器

（撰写：王连奎 审订：兰家亨）

Eluosi qianSulian de heshiyanchang

俄罗斯／前苏联的核试验场 nuclear test site of Russia/Soviet Union 前苏联／俄罗斯建立的核试验场。前苏联的核试验主要在塞米巴拉金斯克和新地岛进行。苏联解体以后，塞米巴拉金斯克属于哈萨克斯坦管辖，俄罗斯不能再利用这个主要的核试验场地。塞米巴拉金斯克是综合性的核试验场，前苏联曾在此进行过空投、塔爆、地面、平洞和竖井地下核试验。塞米巴拉金斯克距离中国新疆只有约 500 km。前苏联的 715 次核试验中有 456 次是在这里进行的。新地岛位于北冰洋，气候十分寒冷，交通很不方便。前苏联曾在这个试验场进行空爆、地面、平洞地下核试验，前苏联还在新地岛的北冰洋海上进行了水面和水下的核试验。前苏联最大威力的核爆炸都是在新地岛的上空进行的。在签订了全面禁止核试验的条约后，俄罗斯继续在新地岛进行次临界试验。前苏联还曾在西伯利亚进行了一系列的空中核爆炸试验。 （撰写：吕 敏 审订：周佩珍）

erci feiwu

二次废物 secondary waste 废物处理过程中作为副产物产生的废物。例如，在废气处理中产生的洗涤废液、废过滤器芯或吸附剂；再生离子交换树脂时产生的反冲废水、再生废液和失效的废树脂等。大多数二次废物仍属放射性废物，需要进一步处理、整备和处置。因此，在废物管理中要求通过优化设计，选择安全可靠、技术效果好、二次废物少、操作维修简便、投资和运用费用低的综合性能好的方案。

（撰写：孙东辉 审订：王显德）

erci pingbi

二次屏蔽 secondary shielding 习惯上指围绕反应堆主冷却剂系统的屏蔽。它的作用是减低二次屏蔽体外场所的辐射水平。这些辐射是由主冷却剂系统有关设备、管道中的主冷却剂所产生的，以及由堆芯辐射贯穿一次屏蔽体后所剩余的。二次屏蔽必须综合达到相应辐射分区的要求。在某些情况下，它是放射性气溶胶和放射性气体的屏障并且起到正常运行时工作人员辐射防护的功能，此时它就兼作为生物屏蔽层。通常反应堆主冷却系统的设备在某种程度上对堆芯的辐射也起一定的屏蔽作用，某些辐射最强的设备可以附加局部阴影屏

蔽，因此设备布置的合理与否可以对整个屏蔽的重量、造价和外形尺寸产生重要影响。（撰写：华 旦 审订：吴德强）

erci pingzhang

二次屏障 secondary barrier 包容一次屏障所在场所或小室的屏障。在核电厂的三道密封屏障（燃料元件包壳、反应堆冷却剂压力边界和安全壳）中，二次屏障一般指反应堆冷却剂压力边界。在燃料元件包壳有破损情况下，燃料元件包壳内放射性裂变产物将释放到反应堆冷却剂中。反应堆冷却剂系统将这部分裂变产物密封在其内部，并通过其净化和除气系统加以去除。但二次屏障的概念是相对的，例如对于冷却剂中产生的活化产物，反应堆冷却剂压力边界为一次屏障，安全壳为二次屏障。生产堆和研究堆也设有反应堆冷却剂压力边界，相对于燃料元件包壳，它是二次屏障，但相对于冷却剂中产生的活化产物，它是一次屏障。在操作易裂变材料或放射性物质的场所或小室，为防止放射性物质的泄漏，有时也有含有通风净化系统的屏障实体，它们起着二次屏障的功能。

（撰写：刘 华 审订：吴德强）

erjiguan chouyun guti jiguangqi

二极管抽运固体激光器 diode-pumped solid-state laser (DPL) 又称二极管抽运固体激光器。用半导体二极管激光器作抽运光源的固体激光器。DPL 克服了灯抽运固体激光器热效应严重和总效率低两大缺点，使全固体化器件中同时实现高功率、高效率、长寿命并兼顾光束质量指标成为可能，而且使固体激光器储能性好、多种单元技术成熟等优点得以充分发挥，是激光科学技术中一个重要的发展方向。DPL 的研究始于 60 年代初，进入 20 世纪 80 年代后，二极管阵列制作工艺的进展促进了 DPL 的发展。输出功率数百瓦到数千瓦的 DPL 系列产品已经制出。（撰写：吕百达 审订：江文勉）

2π liuqishi zhengbiguan

2π 流气式正比管 2π gas flow proportional counter 工作气体可流动、测量样品能放入管中底部达到 2π 几何张角的正比管。该管一般为半球形。作为阴极的一部分的底盘，通过 O 圈与主体相连，测量样品放在有 O 圈与正比管密封、并可推进和拉出的托盘上。正比管阴极为铜或不锈钢，阳极用约 40 μm 的不锈钢丝，工作气体为甲烷或氩与甲烷的混合气体。为了测量较大面积的放射性样品，放置样品的阴极底盘面积可以做大（可达 150 cm^2），这时，为保证管中电场的均匀，采取了多根阳极丝并连结构（见图）。2 π 流气式正比管通常用来测量不同面 α、β 放射源的表面粒子发射率和放射性活度值。（撰写：姚历农 审订：彭华寿）



多阳极丝 2π 流气式正比管外形图

eryanghuabu

二氧化钚 plutonium dioxide 化学式 PuO_2，是钚的最稳定的化合物，也是钚的最重要的化合物。PuO_2 通常是绿色的粉末，其颜色与纯度和颗粒的大小有关，所以颜色随制备方法而异。PuO_2 具有面心立方体结构，晶格常数 $a = 0.53160 \pm 0.00003$ nm。由于辐射损伤，其晶格随时间增加而增长。PuO_2 的理论密度为 11.46 g/cm^3。PuO_2 十分稳定，尤其是高温灼烧得到的产品，反应活性更低。PuO_2 也是一种极难溶解的物质，用通常的方法很难溶解。正因为 PuO_2 熔点很高，稳定性好，容易制备，可与某些金属混合使用等理想的特性，所以适合于作核燃料。通常与 UO_2 混合在一起制成陶瓷芯块作为轻水堆或快中子堆的 MOX 燃料。

（撰写：张先业 审订：朱永赌）

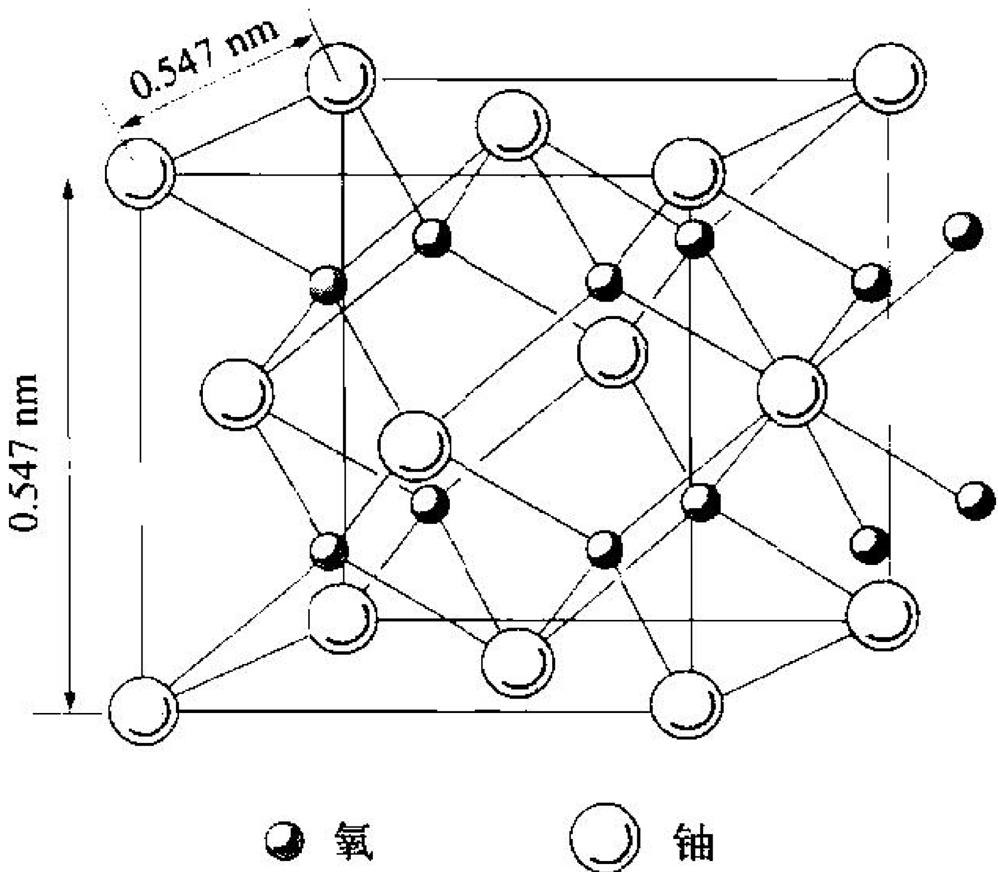
eryanghuayou

二氧化铀 uranium dioxide U–O 二元系中的热力学稳定相之一，化学式 UO_2。随温度的变化，UO_2 向贫氧或富氧区扩展，形成超化学计量（室温）或亚化学计量（高温）二氧化铀，以 $UO_{2\pm x}$ $(x > 0)$ 表示。二氧化铀属萤石型面心立方结构（见图），理论密度 10.97 g/cm^3，熔点 3138 K。二氧化铀的主要热物理性质和机械性质示于表中。UO_2 的熔点、热导率都与 O/U 比有关。低于 1323 K 时，UO_2 发生弹性变形直至断裂；高于 1323 K 时，出现塑性变形。在室温下块状 UO_2 不易氧化，在空气中加热生成 U_3O_8；在 773 K 加压水中发生微量溶解；在 773 K 下与铝、锆有微弱反应；在 1073 K 下，与不锈钢长期保持相容。二氧化铀有熔点高、高温稳定性好、抗辐照能力强、与锆或不锈钢包壳的相容性及耐水腐蚀性好等优点，目前已广泛用于各种水冷动力堆。

UO_2 的热物理性质和机械性质(373K)

比热容 /J·$(mol·K)^{-1}$	热导率 /W·$(m·K)^{-1}$	热膨胀系数[①] /$10^{-6}K^{-1}$	纵向弹性模量 /MPa	抗压强度 /MPa	断裂强度 /MPa
71.3	7.5	10.52	1.75×10^5	420～980	98.0～112.0

①在 298～1273 K 条件下。



化学计量二氧化铀的晶体结构

（撰写：李文埮 审订：张忠岳）

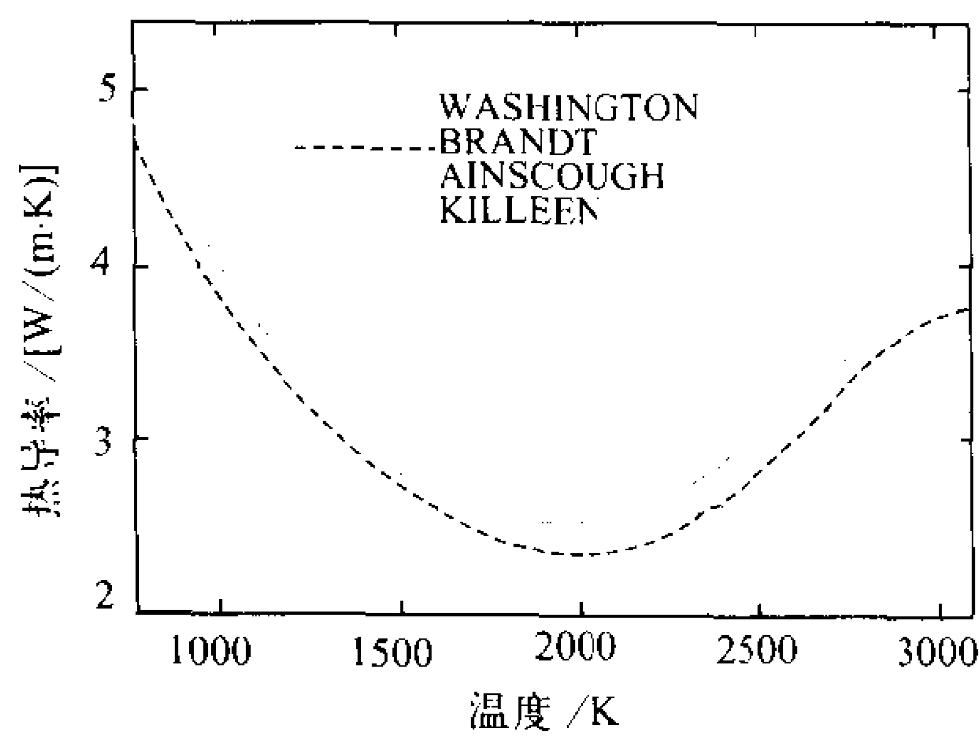
eryanghuayou fenmo

二氧化铀粉末 uranium dioxide powder 以颗粒形式存在的分散的 UO_2，是核燃料元件生产的中间产品，也是制造水冷堆用 UO_2 芯块的起始材料，由 UF_4 原料经化工转化而成。UO_2 粉末的性能随生产方法的不同而异。其生产方法有湿法和干法两种。湿法又有重铀酸铵（ADU）和三碳酸铀酰铵（AUC）流程；干法以一体化方法的应用最普遍。其中由 AUC 流程生产的 UO_2 粉末具有流动性好、烧结活性高、氟含量低和质量稳定等优点，最适宜用于制造 UO_2 芯块。UO_2 粉末的性质如形状、大小及其分布和结构，及相关的工艺性能如松装密度、流动性和成型性决定了成品的压制和烧结性能。UO_2 粉末在

空气中易于氧化，对于新制备的应作稳定化处理，然后在密封容器中贮存。（撰写：李文埮　审订：张忠岳）

eryanghuayou ranliao xinkuai de redaolü

二氧化铀燃料芯块的热导率 thermal conductivity of UO_2 fuel pellet　UO_2(或$(U,Pu)O_2$)芯块所传导的热流密度与传热方向温度梯度成正比的比例系数。热导率的单位为W/(m·K)。在温度低于1600℃以下时，UO_2的热导率以晶格导热为主，热导率$\lambda_1=(A+BT)^{-1}$,(A,B为经验常数)随温度升高而减小。当温度超过1600℃时，电子导热和辐射传热的重要性增大，热导率随温度升高而增大(两项综合表示为$\lambda_e=CT^3$,C为经验常数)，如图所示。UO_2的热导率还与O/U比、孔隙率、辐照剂量有关。$(U,Pu)O_2$芯块的热导率与UO_2相比，略有减小，且与钚含量有关。



UO_2热导率与温度的关系

（撰写：张汝娴　审订：张忠岳）

eryanghuayou sanyanghuaerga keran duwubang

二氧化铀—三氧化二钆可燃毒物棒 UO_2–Gd_2O_3 burnable poison rod　以Gd_2O_3加入UO_2制成的可燃毒物棒(参见*可燃毒物*)。对于12～18个月换料的压水堆堆芯部分燃料组件，大多加入含钆可燃毒物棒，而不采取对冷却剂增加硼浓度以控制剩余反应性的办法，因为，如果硼浓度超过最大允许值，不仅对慢化剂温度系数有不利影响，而且为保持必要的pH值而必须增加锂的浓度。结果，锆包壳加速腐蚀的风险增大。钆作为可燃毒物有许多优点，例如：(1)使用方便，将少量含钆棒分散布置在若干个燃料组件内，便可得到控制反应性的功能而对功率分布不产生明显影响；(2)Gd_2O_3可以与UO_2形成固溶体，其传热学和化学物理性质与UO_2相差不大。在辐照和后处理过程中，仍可按标准燃料棒对待；(3)其所含吸收能力极强的两种天然钆同位素(质量数156，158)，在辐照过程中嬗变为吸收能力极弱的钆同位素（质量数157，159)，因此，残余毒性很小；(4)在压水堆的能谱下，其消耗率可以适应不同的换料周期长度（12～24个月)。缺点是钆棒的导热性能比UO_2棒差。

（撰写：张忠岳　审订：黄玉才）

eryanghuayou xinkuai

二氧化铀芯块 uranium dioxide pellet　呈圆柱形小块状的UO_2烧结体。它是水冷堆燃料棒内叠置在锆合金包壳内的燃料芯体。由UO_2粉末加工成UO_2芯块普遍采用冷压和烧结工艺（参见*冷压烧结工艺*)。UO_2芯块的性能随加工方法而异，其变化范围较大。UO_2芯块在反应堆内使用时，受到中子辐照和陡峭的温度梯度作用，出现径向和纵向裂纹、气孔重布、晶粒长大、中心空洞等组织变化，并产生密实、肿胀等现象。为了减少上述现象的发生，可采取改进燃料芯块设计(如采用中空芯块、碟形芯块)和革新制造工艺(以控制晶粒度和气孔尺寸及其分布)等措施。

（撰写：李文埮　审订：张忠岳）



fashedu

发射度 emittance 带电粒子束在相空间里所占据的相面积除以π。分别以 ε_x,ε_y和 ε_z表示束流的横向与纵向发射度，统称 ε，单位是πmm · mrad。理论证明，当粒子的运动体系是正则的，在其正则变数（x，p_x，y，p_y，z，p_z）所构成的相空间中的相体积是一个运动不变量,它标志着束流的固有品质。归一化发射度是正则变数所构成的相空间在二维平面上投影的相面积除以π，分别以 ε_{xn}，ε_{yn}和 ε_{zn}表示束流的横向与纵向归一化发射度，统称 ε_n，在不计相间耦合的条件下，在正则运动体系里它们分别都是运动不变量，它区别于其他非正则变数所构成的相空间的发射度，即非归一化发射度。它们之间的关系为：$\varepsilon_n=\varepsilon\beta\gamma$。在有些场合下，经常会用到均方根发射度 ε_{rms}和归一化均方根发射度 $\varepsilon_{n,rms}$。它们之间的关系为

$$\varepsilon_{rms}=\sqrt{\left(\overline{x^2x'^2}-\overline{(xx')^2}\right)};\quad \varepsilon_{n,rms}=\sqrt{\left(\overline{x^2p_x{}^2}-\overline{(xp_x)^2}\right)}\ ;$$

$$\varepsilon_{n,rms}=\beta\gamma\varepsilon_{rms}。$$

（撰写：王传英 审订：关遐令）

fasheduyi

发射度仪 emittance monitor 带电粒子束流发射度测量装置。根据工作原理的不同，发射度仪主要可分为缝丝法，孔屏法，穿越辐射法和三梯度法等不同类型。缝丝法的基本形式为单缝单丝，其原理是利用水平（以下简称 X）方向或垂直（以下简称 Y）方向的狭缝切割出一窄条束流，令其漂移一段距离后，用一细丝对束流在 X(或 Y) 方向进行扫描，从束流在 X(或 Y) 方向的扩展程度即可推知其散角。将狭缝沿 X(或 Y) 方向移动，重复以上步骤，即可测得束流在相应相空间的发射度。若用多缝代替狭缝的移动即为多缝单丝式，若用多丝束流采样代替单丝的扫描即为单缝多丝式。孔屏式的工作原理是在束流路径上插入胡椒瓶式样的孔板，同时在其后一段距离处插入荧光屏，由荧光屏上相对于胡椒孔的光斑形状与尺寸，可推算出该孔处束流的散角。综合多孔的结果，即可计算出束流的发射度。穿越辐射法主要用于高能电子束，利用穿越辐射 (OTR) 效应所产生光辐射的角度与密度分布推算束流的发射度。以上几种方法均属于发射度测量的直接方法。三梯度法则属于间接方法，该方法基于束流传输的相空间椭圆变换理论，通过测量束流传输路径上几个特定位置的束流截面，推算出束流相椭圆的基本参数，进而求出束流的发射度。

（撰写：郭之虞 审订：关遐令）

fashexing jisuanji duanceng xianxiangyi

发射型计算机断层显像仪 emission computed tomography (ECT) 利用引入人体的放射性药物发出的射线，经过核探测器收集信号并经计算机图像重建而获得药物活体分布的断层影像的诊断装置。ECT分为单光子发射计算机断层显像仪 (SPECT) 和正电子发射断层显像仪 (PET) 两类。与 XCT 相比，ECT 反映的是正常组织和病变组织吸收或浓集核素的差异，故既可显示形态，又可反映功能和代谢状态。与γ照相机相比，ECT 可以得到断层图像和成像物体的三维信息，克服了平面图像前后放射性重叠引起的图像失真和深部微小病变的低检出率，并能提供定量分析。ECT 所获得断层图像不仅是解剖的，而且是生理、生化及病理过程的宏观图像，因此，ECT 是体外测定生理、病理变化的定量装置。

（撰写：王荣福 审订：吕延晓）

F

faranliao

乏燃料 spent fuel 在核反应堆中，辐照达到计划卸料的比燃耗后从堆中卸出，且不再在该反应堆中使用的核燃料。在乏燃料中还有许多有价值的物质，如未裂变和新生成的易裂变核素 ^{235}U,^{239}Pu 和 ^{233}U,大量未用完的可裂变核素,如 ^{238}U, ^{232}Th 以及在辐照过程中产生的超铀元素，如 ^{237}Np，^{241}Am，^{242}Cm 和核裂变产生的有用的裂变产物元素，如 ^{90}Sr，^{137}Cs，^{99}Tc，^{147}Pm 等。这些物质可以通过乏燃料后处理和相应的分离流程予以回收。 （撰写：章泽甫 审订：朱永𬉼）

faranliao de lengque

乏燃料的冷却 cooling of spent fuel 乏燃料中含有大量放射性物质，随着放置时间的延续经自然衰变而使放射性活度和释热率减弱的过程。乏燃料的冷却一般在乏燃料贮存水池中进行。动力堆乏燃料的冷却时间一般不少于 3～5 年。乏燃料经冷却降低放射性带来的好处有：减少乏燃料运输容器制造经费；缓解乏燃料后处理工艺上的技术难度；降低乏燃料后处理厂的工程投资。

（撰写：林懋贞 审订：郑华铃）

faranliao guanli anquan he fangshexing feiwu guanli anquan lianhe gongyue

《乏燃料管理安全和放射性废物管理安全联合公约》 Spent Fuel Management Safety and Radioactive Waste Management Safety Joint Convention 该公约是国际原子能机构 (IAEA) 组织制定的一项国际公约。1994 年 IAEA 第 38 届大会决定制定《放射性废物管理安全》国际公约，1995 年 IAEA 成立法律和技术专家组，开始起草公约文本。共有 50 多个国家派专家参与公约的起草、磋商和审议工作。由于对乏燃料是否应包括在公约的适用范围内存在争议：一部分国家认为乏燃料要进行后处理，有资源属性，不应纳入公约之内，不主张后处理的国家认为乏燃料是一种高放废物。最后达成共识“作为后处理活动的一部分在后处理设施中保存的乏燃料不包括在本公约的范围之内”,即不进行后处理的乏燃料作为放射性废物对待，纳入本公约范围之内。但考虑乏燃料与其他放射性废物的不同特点，于 1997 年将公约名称改为《乏燃料管理安全和放射性废物管理安全联合公约》，并经表决通过。该公约包括序言和 7 章条款。在序言中重申乏燃料和放射性废物管理安全的最终责任由当事国承担。7 章的题目分别是：目标，定义和适用范围；乏燃料管理安全；放射性废

物管理安全；一般安全规定；其他规定；缔约方会议；最后条款，其他规定。　(撰写：赵亚民　审订：潘自强)

faranliao jianqieji

乏燃料剪切机　spent fuel shearing machine　剪切乏燃料组件的机器。它是复杂的机电一体化设备。乏燃料剪切机有立式送料与卧式送料两种形式，商用后处理厂应用的多为后者。机器由装在热室内的机体、料筒与送料装置、燃料组件压紧装置元件短段溜槽、端头接收斗、传动机构等与装在热室外的液压、电控系统组成。热室内部件除刀具为合金工具钢及少量非金属件外，均为不锈钢。剪切刀为阶梯状，剪切力为200～300 t，剪切过程中各部件按程序自动运行，可在热室外监视，利用负压与控制气流抽吸剪切过程中产生的粉尘，用遥控吊车、机械手及专用工具配合电视观察实施对机器的远距离检修。　(撰写：左　民　审订：郑华铃)

F

faranliao ranhao xinrenzhi

乏燃料燃耗信任制　burnup credit of spent fuel　承认乏燃料的燃耗，按乏燃料的实际反应性来保证临界安全的做法。以热堆 UO_2 核燃料为例，辐照后易裂变核素 ^{235}U 含量下降，生成了易裂变核素 ^{239}Pu 和中子吸收截面大的裂变产物。这使热堆乏燃料的反应性比新燃料的低。随着动力堆燃耗不断加深，新燃料组件与乏燃料组件反应性差距愈来愈大。历史上，由于燃耗浅和对乏燃料的测试技术不完备，在设计乏燃料的贮存、运输、溶解、化学分离设备时仍采用原始新燃料的反应性，这就造成浪费。实行乏燃料燃耗信任制，既可保证安全，又可得到较大的经济效益。要推行乏燃料燃耗信任制(燃耗置信)，必须满足一定要求，例如，要有相应的法规，要有完善燃耗测定技术和燃耗计算软件。许多国家正在广泛地开发应用乏燃料燃耗信任制。　(撰写：林懋贞　审订：郑华铃)

faranliao xianchang jianyan

乏燃料现场检验　on-site examination of spent fuel　为反应堆安全运行和乏燃料的安全贮存以及后处理管理的需要，在反应堆换料水池或乏燃料贮存水池中，采用多种水下探测技术和手段，对乏燃料组件进行的质检（检漏、宏观观察、无损探伤）和测量（燃耗、外形尺寸）。例如，用涡流探伤、超声、γ 扫描和啜吸方法来检查破损元件。乏燃料现场检测的作用是：出堆后的燃料组件不用等待，即可对它进行检验；及时地找出燃料组件损伤的部位，为安全运行提供必要的资料；换去组件内破损的单棒，返回堆芯继续运行，提高经济效益；为供后处理的乏燃料提供必需的档案资料。　(撰写：林懋贞　审订：郑华铃)

faranliao yunshu rongqi

乏燃料运输容器　spent fuel transport cask　用于包装乏燃料使之成为运输货包的屏蔽密封容器。由燃料吊篮、容器本体、屏蔽密封盖和减震器等组成。吊篮中有中子吸收体材料。容器本体除作为结构件外，还有中子屏蔽、γ 屏蔽与导出衰变热的功能及火灾事故时的隔热功能。一般用铅（内外衬不锈钢）、锻钢或球墨铸铁作容器本体材料。乏燃料运输容器现正向装载多组件、运输储存两用、适用于湿法（水池）和干法（热室）卸料的大型容器发展，但装料后货包重量一般不超过 115 t。　(撰写：左　民　审订：郑华铃)

faranliao zhucun

乏燃料贮存　spent fuel storage　乏燃料贮存分湿式和干式两种，湿式是将乏燃料暂时贮存在以水为屏蔽和冷却剂并衬有不锈钢覆面的池中。干式用空气冷却，多见于坎杜重水堆乏燃料干式贮存仓。通过贮存使放射性核素衰变，降低乏燃料放射性活度。湿式乏燃料贮存设施配有乏燃料卸料池、乏燃料贮存池、池水净化和冷却系统、池水监漏系统、乏燃料容器吊运和乏燃料组件吊运装置以及具有临界安全的乏燃料贮存格架或乏燃料贮存吊篮等一整套装置。卸料池底设有减震层以吸收撞击荷载。随着乏燃料的增加，贮存格架由非密集型贮存向密集型贮存发展。密集型贮存是采用硼钢或含镉金属等中子毒物的材料制作贮存格架，利用中子毒物大的中子吸收截面，压缩乏燃料之间的间距，达到增多所贮存乏燃料的效果。

(撰写：林懋贞　审订：郑华铃)

faranliao zhucun gejia

乏燃料贮存格架　spent fuel storage rack　贮存从反应堆卸出的乏燃料的设施（见图）。在常用的湿法贮存中，它们通常被放置在充水的贮存水池中，用水作为冷却剂及屏蔽体。乏燃料贮存格架的形式和结构根据所贮存的燃料组件进行设计，必须能使贮存的乏燃料组件保持次临界的几何排列，并与燃料组件保持一定的间隙，为自然循环冷却提供流动通道。此外，还应保证在燃料组件插入或拔出时不会损伤燃料包壳。在发生地震时贮存格架必须稳定，结构保持完整。在压水堆核电厂中，特别是 20 世纪 70 年代后期，为扩大湿法贮存水池的贮存容量，开始发展密集贮存型乏燃料贮存格架。采用中子吸收材料（如硼钢、硼铝和镉等）制造贮存套管，并缩小贮存套管的间距，以提高乏燃料的贮存密度。

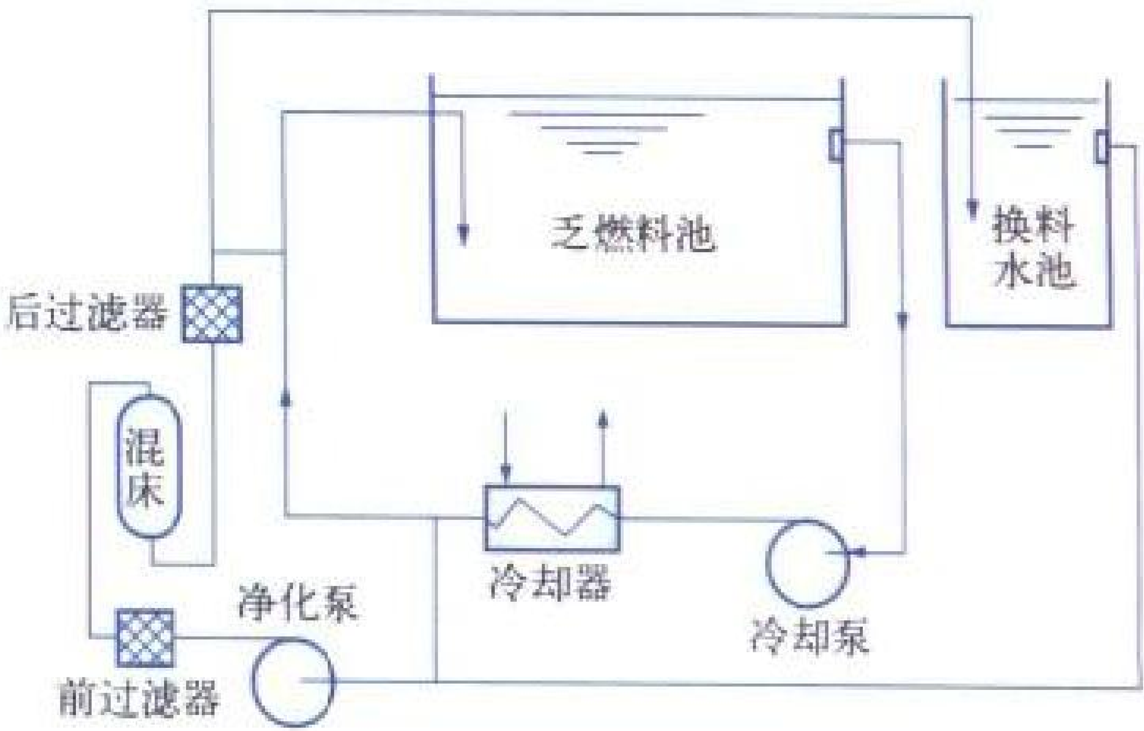


乏燃料贮存格架

(撰写：吴　明　审订：左　民)

faranliao zhucun shuichi lengque he jinghua xitong

乏燃料贮存水池冷却和净化系统　spent fuel storage pit cooling and cleanup system　冷却和净化乏燃料贮存水池内水



乏燃料贮存水池冷却和净化系统

的系统。其功能为排除乏燃料释放的热量，净化池水和降低其放射性强度，并保持其透明度以便进行各种水下操作。压水堆核电厂乏燃料贮存水池冷却和净化系统通常由两个冷却系列和一个净化回路组成（见图）。系统的冷却能力通常要考虑排出停堆 150 h 后 1/3 堆芯的衰变热、池内乏燃料组件最大贮存量时的衰变热以及紧急停堆换料时一个全堆芯停堆 150 h 后的衰变热。

（撰写：戚正文　审订：张维忠）

Faguo heshiyanchang

法国核试验场　nuclear test site of France　法国进行核试验的场地。法国早期曾在当时的法属阿尔及利亚进行过 4 次塔爆试验、13 次平洞方式地下核试验。阿尔及利亚独立以后，法国将核试验移到太平洋上波利尼西亚的穆鲁罗瓦及方阿陶法环礁上进行，共进行了 40 余次大气层核试验，近 140 次地下核试验。在环礁上进行的是竖井核试验，后期的核试验选在环礁湖中进行，利用驳船进行钻井、回填并测量；核装置和测量设备装在一个铁罐中，一起吊入海水淹没的竖井井底。法国的核试验场远离本土，每年一次连续进行一系列核试验。

（撰写：吕　敏　审订：周佩珍）

Faguo hewuqi

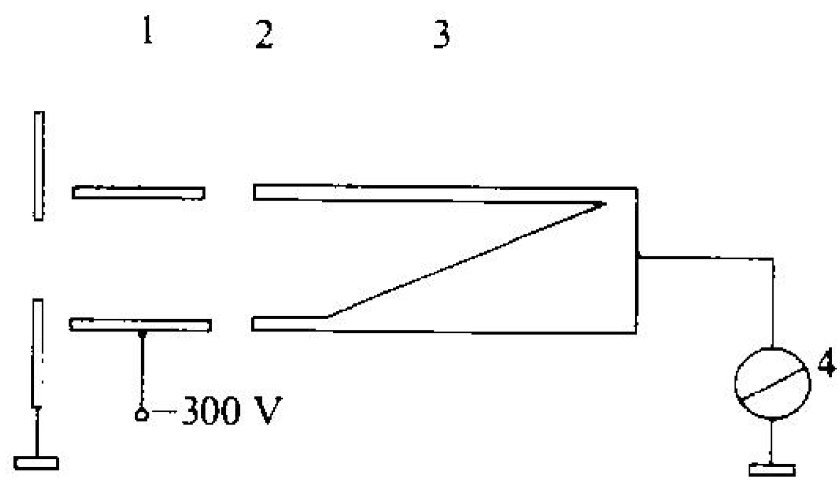
法国核武器　France nuclear weapons　法国研制、生产和部署的核武器。法国是世界上第四个拥有核武器的国家，自 1960 年 2 月首次原子弹试验成功以来，共进行了 210 次核试验，设计过 13 种不同类型的核弹。核弹库存量在 20 世纪 90 年代初达到最大（540 个），到 2000 年有 464 个核弹。法国现装备的核武器有两种：两艘弹道导弹核潜艇及其携带的潜射弹道导弹和机载核武器。464 个核弹头中有装备 M 4 潜射弹道导弹的 TN–70/71 型（288 个）核弹头、装备 M 45 潜射弹道导弹的 TN–75 型（96 个）核弹头和装备 ASMP 空地导弹的 TN–81 型（80 个）核弹头。TN–70 型核弹头和 TN–71 型核弹头的威力均为 150 ktTNT，每枚 M4 导弹装备 6 个 TN–70 型或 TN–71 型分导式核弹头。TN–70 型核弹头的重量不到 200 kg，TN–71 核弹头的重量不到 175 kg。TN–81 核弹头是装备 ASMP 空地导弹的小型化、抗核加固的核弹头，威力为 300 ktTNT、重约 200 kg，其性能类似于 TN–70 型核弹头和 TN–71 型核弹头。预计 2005 年以后，法国仍保留 65 个 TN–81 型核弹。TN–75 是法国目前惟一继续生产的一种小型化、抗核加固、安全性能很高的分导式核弹头、其威力为 100 ktTNT。

法国正在研制新型 M51 潜射弹道导弹，计划到 2008 年服役。第三艘和第四艘新一代"凯旋"核潜艇将分别在 2001 年和 2008 年服役，每艘"凯旋"核潜艇携带 16 枚潜射弹道导弹，每枚导弹带 6 个分导式核弹头。

（撰写：王连奎　审订：竺家亨）

faladitong

法拉第筒　Faraday cup　又称法拉第杯。阻拦式带电粒子束流强度测量装置。法拉第筒的筒体部分一般由束挡板、二次电子抑制电极和测量电极三部分组成（见图）。测量电极为杯形或平板形，对地绝缘。束流被测量电极收集，其强度转换为电信号，用外接电流计测量。二次电子抑制电极为筒形或杯形，加数百伏负偏压，使束流轰击测量电极所产生的二次电子返回测量电极。束挡板为环形，电位接地，对抑制电极起屏蔽作用。法拉第筒一般用于对束流强度进行绝对测量，故对二次电子应进行充分抑制。抑制方法除采用静电场外，还可以采用深杯状测量电极，使用斜面或锥面杯底，或采用磁场使二次电子偏转打到杯壁上等措施。法拉第筒一般采用插入式工作方式，其插入与撤出可采用气动或电磁铁驱动等方法。在束流功率较大时，法拉第筒须采用有效的冷却措施。



法拉第筒示意图
1—束挡板；2—二次电子抑制电极；3—测量电极；4—电流计

（撰写：郭之虞　审订：关遐令）

fan'gaiyoukuang

钒钙铀矿　tyuyamunite　含水的钙铀酰钒酸盐，化学式为 $Ca[(UO_2)_2(V_2O_8)]\cdot 8H_2O$，该矿物发现于乌兹别克斯坦的费尔干纳地区。斜方晶系，晶体呈板状、鳞片状或板条状。集合体呈扇状、放射状、致密块状或薄膜状。颜色为黄、金黄或柠檬黄色。珍珠光泽到蜡状光泽，半透明到不透明。具完全解理，硬度为 2，不易破碎，相对密度 3.3～4.35。在紫外光照射下不发荧光或发很弱的黄绿色荧光。二轴晶负光性。折光率 N_p=1.517～1.675，N_m=1.805～1.870，N_g=1.851～1.895。光轴角 $2V$=30°～45°。钒钙铀矿是表生铀矿物，产于热液型铀钒矿床的氧化带和含铀、钒的外生矿床，与准钒钙铀矿、钒钾铀矿等共生。



钒钙铀矿集合体

（撰写：赵凤民　审订：胡绍康）

fanjiayoukuang

钒钾铀矿　carnotite　含水的钾铀酰钒酸盐，化学式为 $K_2[(UO_2)_2(V_2O_8)]\cdot 3H_2O$，单斜晶系，晶体沿 {001} 扁平；集合体呈粉末状或致密块状。颜色为鲜黄、柠檬黄、淡绿黄色。暗淡光泽到丝绢光泽。沿 {001} 解理完全，硬度 2～2.5，相对密度 3.71～4.70。在紫外光照射下不发荧光或发很弱的污黄绿色荧光。二轴晶负光性。折光率：N_p=1.750～1.78，N_m=1.90～2.06，N_g=1.92～2.08。光轴角 $2V$=43°～60°，色散弱 $\gamma < v$。钒钾铀矿是常见的表生铀矿物，与钒钙铀矿、板菱铀矿、钒的氢氧化物等共生。

（撰写：赵凤民　审订：胡绍康）

fanchong biaoji

反冲标记　recoil labelling　用核过程产生的反冲原子进行的标记。借助于核反应（包括核裂变）和核衰变过程中生成的放射性反冲原子与周围化合物分子的直接作用，可以制备某些标记化合物。例如，利用 $^{14}N(n, p)^{14}C$ 核反应过程产生的 ^{14}C 反冲原子，可以制备一些 ^{14}C 标记化合物。反冲标记速度快，在核转变过程中生成反冲原子的同时即可获得标

记化合物，且能制得一些难以合成的标记化合物。缺点是产物复杂，放射性比活度低。

（撰写：卢玉楷　审订：吕延晓）

fanchong yuanzi huaxue

反冲原子化学 chemistry of recoil atom 见热原子化学。

fancuiqu

反萃取 stripping; back extraction 将被萃取物质从有机相转入水相的过程。反萃取是萃取过程的逆过程，就是将有机相中形成的萃合物解离成水溶性的化合物。在一般情况下，还可以通过改变反萃取相比的方法达到提高反萃取液中金属浓度，以适应随后的沉淀、结晶等过程来制取纯产品的目的。反萃取过后的贫有机相经过适当调整可以重新用于萃取。反萃取剂的浓度、操作温度、接触时间和相比以及反萃取级数等是影响反萃取效率的主要因素。

（撰写：程光荣　审订：牛玉清）

fandianjixing gaochunzhe tanceqi

反电极型高纯锗探测器 reverse-electrode HPGe detector 采用N型HPGe单晶制成的同轴探测器——N型HPGe同轴探测器，由于它的电极排列与（P型）同轴探测器相反，即它的外电极是$P^{+}N$结，而内电极为Li扩散的N^{-}接触，故称其为反电极型HPGe探测器。同时，由于它的外电极是B^{+}离子注入层（约0.3 μm厚），它能探测到低至3 keV的X射线。这种探测器的主要优点是：(1) 宽的探测能区（3 keV～10 MeV X和γ射线）。(2) 薄的外电极也使得它特别适用于反康谱仪。(3) 高的耐快中子辐照损伤性能，使其适用于有快中子及高能带电粒子的场合。近年来，基于反电极HPGe同轴探测器，正研究发展一种新型γ射线探测器：γ射线径迹探测器。它是将一个探测器分割成若干个或数十个独立的区域，组成探测器阵列，构成4π立体角。它可以探测每条γ射线的反应点位置和能量，主要用于研究核结构和核反应。

（撰写：吴绍云　审订：王征华）

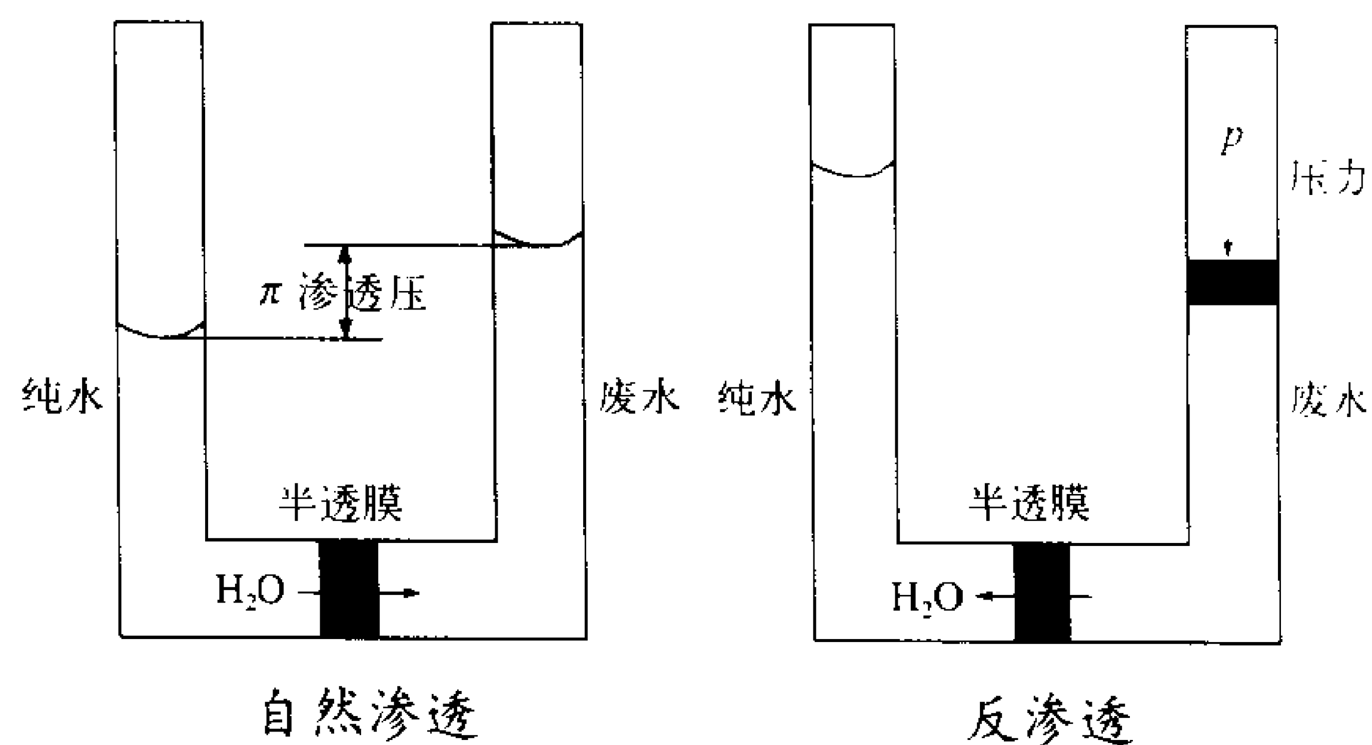
fanfuhe dianlu

反符合电路 anti-coincidence circuit 具有反符合脉冲输入端和符合脉冲输入端的、用来在时间上选择信号的电路。反符合电路产生输出信号的条件是：符合输入端的输入脉冲在时间上不出现在反符合输入端的信号宽度以内。反符合输入端的脉冲实际上起着一般逻辑门电路的禁止信号的作用；但核电子学中的反符合电路的输入信号有专门成形电路，可接受核辐射探测器输出的随机模拟脉冲。在核辐射测量中，反符合电路用于剔除不希望录的事件，例如剔除某些方向上由康普顿散射产生的信号。

（撰写：倪建平　审订：席德明）

fanshentou

反渗透 reverse osmosis 在与半透膜接触的浓溶液一侧施加大于溶液自然渗透压的压力，使溶液产生与自然渗透相反的渗透时使用，即使浓溶液中的溶剂透过膜进入稀溶液的过程。如图所示$p>\pi$，通常，压力p=1.5～10 MPa。反渗透可截留粒度为4×10^{-4}～6×10^{-2}μm的离子和胶体以及分子量大于100的有机物。反渗透适用于处理低盐分的低、中放废液，去污因数达10～100，浓缩液的体积占供料液的10％左右。



为提高总的净化效果，可与蒸发、离子交换联合使用。反渗透膜容易沉积无机物、吸附有机物、粘着和繁殖微生物，所以必须对料液预处理，如过滤、除去有机物和杀菌等，还要定期清洗和更换膜组件。常用板框式、管式、螺旋卷式和中空纤维式膜组件，使用醋酸纤维素膜和芳香聚酰胺膜。反渗透广泛用于海水、咸水的淡化和用水、工业废水的处理。

（撰写：骆大星　审订：孙明生）

fanwuzhi

反物质 antimatter 由反粒子组成的物质。反粒子是对应于正常粒子，如质子、中子、电子等的电荷共轭态。1930年狄拉克发展了对电子的量子力学描述，并使之同时也满足狭义相对论。这个理论预言了电子的反粒子——正电子的存在。1932年安德森在宇宙线观测中发现了正电子。1955年美国物理学家利用Bevatron加速器发现了反质子，为任何粒子都有对应的反粒子的论断提供了有力的证据。反粒子也产生于一些放射性衰变过程中。如



$$^{14}C \rightarrow {}^{14}N + e^{-} + \bar{\nu}_e \qquad {}^{19}Ne \rightarrow {}^{19}F + e^{+} + \nu_e$$

按照宇宙学和粒子物理标准模型，在宇宙大爆炸初期，存在等量的粒子和反粒子。然而，现在人类所观察到的宇宙空间只有正常粒子组成的原子分子物质，而没有稳定存在的反物质。但这并不排除在更遥远的空间存在反物质。同时，人们也试图在地球上用人工的办法产生反物质。1996年1月，欧洲核子中心（CERN）宣布在低能反质子环上合成了11个反氢原子，它们是由正电子围绕反质子运动形成的。随着技术的改进，人类有可能大量生产反原子，它们具有重要的应用价值。

（撰写：张建玮　审订：叶沿林）

fanxiangchang gusuo zhuangzhi

反向场箍缩装置 reversed field pinch (RFP) 产生在箍缩时等离子体内部冻结的磁场方向与外加磁场方向相反的位形的装置。是一种轴对称闭合环形系统。等离子体被环向（纵向）磁场B_ϕ与极向磁场B_θ的组合磁场约束，极向场由等离子体电流产生，环向场由外电源供电的环向磁体产生，这些都和托卡马克相同。不同的是：在等离子体内部和外部，环向磁场方向相反。由于强磁剪切，RFP的环径比不受限制，预期在β值高达40%时还是理想MHD稳定的。RFP位形产生的方法有两种：(1) 自反向：在不稳定湍流状态期内，自身在电流的最外面产生反向环向磁场。(2) 程序场：先加上缓慢上升的环向场产生不大的环向电流使气体电离，增大环向放电电流，并将环向磁体的供电电流反向，其磁场不能渗入等离子体而在其外部产生反向的环向场。

（撰写：钱尚介　审订：黄　林）

fanxiepo baojing

反胁迫报警 anti-compel alarm 又称反劫持报警。给值班、巡逻人员配备的隐蔽报警装置。一旦有关人员受到非法入侵者的胁迫并失去人身自由，或在非法入侵者的胁迫下进行操作时，仍可以向中央控制室和各分控制点秘密发信号报警而不易被非法劫持者发现。特别是在核材料运输过程中，这种报警手段更为重要。一般这种装置是无线电信号发生器，隐蔽性较好，其触发器都藏在当手脚被捆情况下仍能触碰到的地方。发出的无线电信号，能在中央控制室和各分控制点的屏幕上显示出发出信号的地点和事件特征，以便中央控制室或就近的分控制点能及时派人营救或支援，制止事态发展。

（撰写：薛伟贤　审订：董柏年）

fanyingdan

反应弹 reaction bomb 钙(镁)还原法生产金属铀、钍和钚所用的弹形反应器。反应弹由钢制的外壳和高纯耐火材料的衬里构成。衬里的功能是防止铀、炉渣与外壳发生相互作用，避免预热时装料表面升温过快，并在反应开始时对装料起保温作用。衬里材料可采用 CaF_2，MgF_2，电熔白云石或石墨。其中氟化物因成本低、纯度高而被广泛使用，但其熔点较低，需加大衬里厚度；电熔白云石的熔点高，易于操作，但制造困难，尚需对炉内 HF 采取隔离措施；使用石墨衬里需在内壁涂保护层（如 $MgZrO_3$–ThO_2）以防止碳渗入产品。衬里材料的性能决定了反应弹的使用寿命。

（撰写：李文埮　审订：张忠岳）

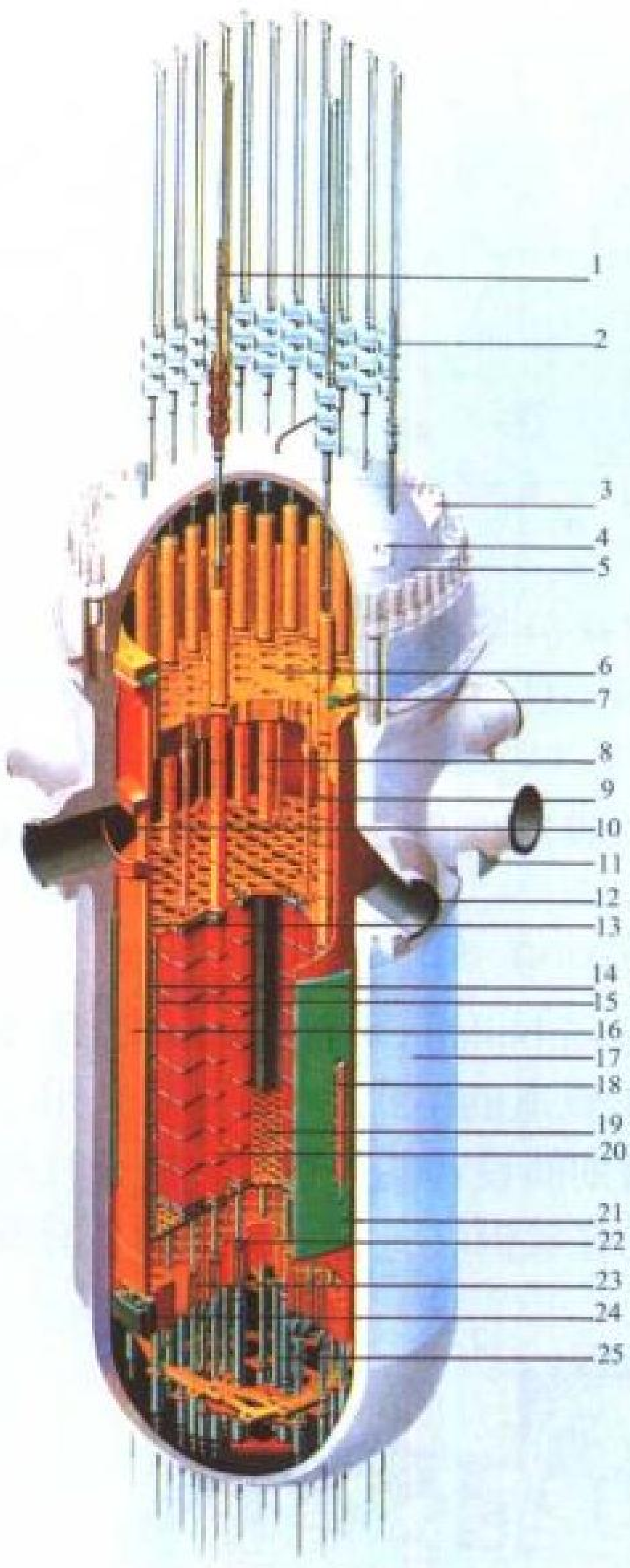
fanyingdui baohu xitong

反应堆保护系统 reactor protection system 产生与保护任务有关的信号以防止反应堆状态超过规定的安全限值或缓解超过安全限值后果的系统。它包括监测反应堆安全变量的敏感元件、信号甄别和处理部件、用于完成规定安全功能的逻辑装置以及将其输出信号传送到一个或多个安全驱动器等设施。在设备故障、误操作或其他不正常状态下，当被监测变量达到规定的保护动作的整定值时，本系统即产生与保护功能相应的保护动作信号，触发安全驱动器动作，防止反应堆状态超过规定的安全极限，或减轻超过安全极限引起的后果。保护功能包括反应堆安全停堆和驱动安全设施。当安全停堆不足以减轻严重事故造成的后果时，驱动安全设施提供最后的保护。反应堆保护系统必须具有与其所执行功能相适应的动作可靠性，必须确保系统中的单一故障不会丧失执行保护功能的能力。为此，保护系统设计中必须按规定满足多重性、多样性、功能隔离、实体分隔、故障安全和可试验性等准则要求，确保系统达到规定的可靠性。

（撰写：彭经文　审订：孙荣绵）

fanyingdui benti

反应堆本体 reactor proper 反应堆本身的结构。它主要包括堆芯、堆内构件、反应堆容器和控制棒驱动机构等部件。以压水堆为例（见图），高温、高压的冷却剂在冷却剂泵唧送下，由反应堆压力容器入口接管进入，沿压力容器内侧向下，在吊篮底部向上进入堆芯，将燃料核裂变释放的热量载出，加热后的冷却剂从压力容器的出口接管进入主管道。



1—传动杆；
2—控制棒驱动机构；
3—整体顶盖吊耳；
4—顶盖吊耳；
5—封头顶盖；
6—上部支承板；
7—压紧弹簧；
8—控制组件导向筒；
9—上部支撑柱；
10—冷却剂出口接管；
11—压力容器支撑块；
12—冷却剂入口接管；
13—堆芯上板；
14—径向支撑板；
15—堆芯围板；
16—堆芯吊篮；
17—反应堆压力容器；
18—辐照样品导向装置；
19—堆芯下板；
20—燃料组件；
21—热屏蔽体；
22—堆芯下部支承板；
23—堆芯支撑柱；
24—径向支撑；
25—测量导管

反应堆本体剖视图

（撰写：杜圣华　审订：潘系人）

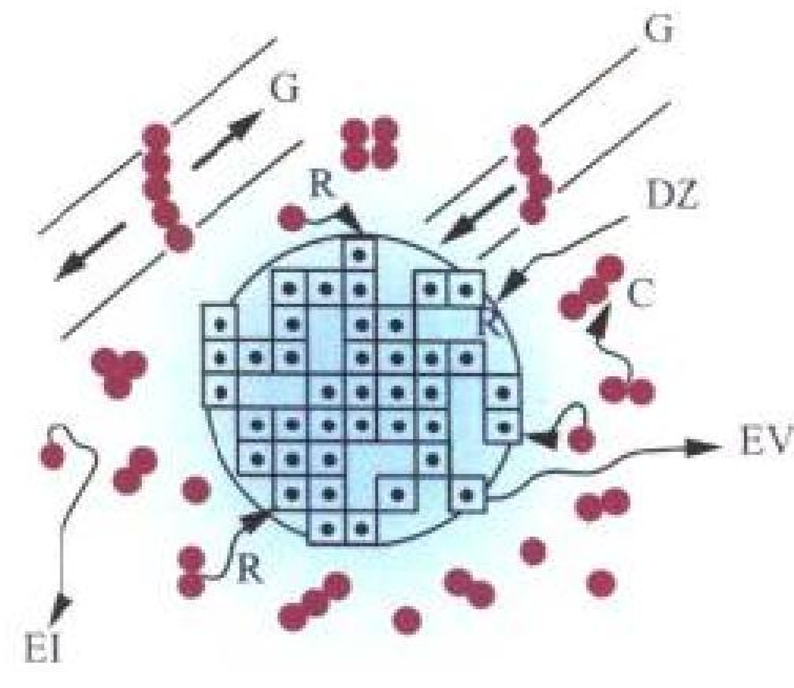
fanyingdui cailiao

反应堆材料 materials for nuclear reactor 用于建造各类反应堆的材料。主要包括核燃料（如金属铀、UO_2 及 U–Pu 混合氧化物）、包壳材料（铝合金、锆合金及不锈钢）、堆内构件材料、冷却剂材料（轻水、重水、氦及钠）、慢化剂材料（轻水、重水、石墨及铍）、控制材料（B_4C，硼钢，Ag-In-Cd 合金及铪）、压力容器（低合金铁素体钢）和管道材料（不锈钢）及屏蔽材料（加硼钢、重混凝土）等。对反应堆材料的要求，除了具有一般工程材料所具有的性能外，还应有良好的核物理性能、耐辐照损伤性能以及能很好地与反应堆环境相容的特性。

（撰写：张裕林　审订：李文埮　石永康）

fanyingdui cailiao fuzhao xiaoying

反应堆材料辐照效应 irradiation effect of reactor materials 在辐射环境下，射线（主要是中子）与反应堆材料发生相互作用而引起后者微观组织和宏观性能的变化。辐照效应来自入射粒子与材料内点阵原子的碰撞及随之而由初级离位原子组成的级联碰撞和置换碰撞列。由此产生了大量离位原子，形成点缺陷和贫原子区；在热运动的影响下，它们不断演化，最终成为稳定的缺陷团、位错圈、新相沉淀颗粒、非晶区或相变区等（见图），从而造成反应堆材料物理和力学性能的改变。诸如核石墨和金属铀燃料在中子辐照下产生的各向异性尺寸长大；锆合金燃料包壳的辐照生长、蠕变和 UO_2 芯块的辐照密实、肿胀、裂变气体释放以及压力容器钢的辐照脆化等，都关系到堆芯燃料元件和构件的使用性能、反应堆的安全运行和设计寿命。因此在堆芯部件的设计和反应堆运行中应十分关注反应堆材料的辐照效应。



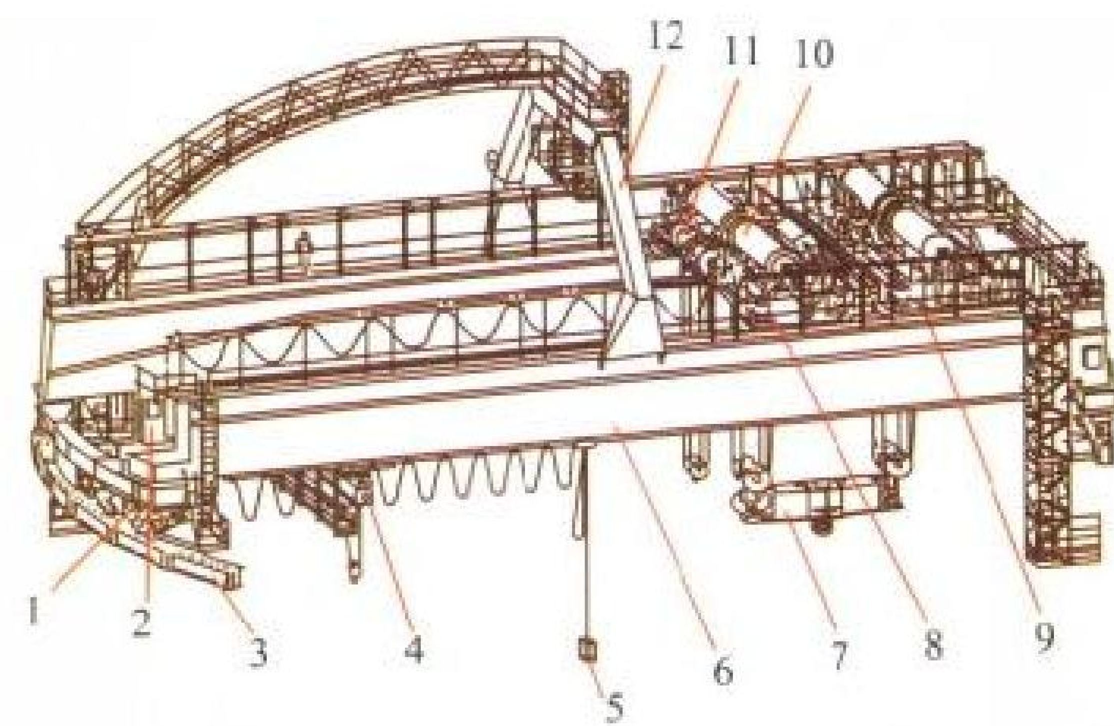
离位级联中缺陷排列示意图

DZ —贫原子区；●●● —间隙原子壳层；R —级联复合；C —成团反应；G —间隙环 DZ 的滑移；EI、EV —逸出的间隙原子和空位

（撰写：郁金南　审订：李文埮）

fanyingdui changfang huanxing diaoche

反应堆厂房环形吊车　reactor building polar crane　位于反应堆大厅上部的带有环形大车轨道的桥式吊车（见图）。用于反应堆建造期间及换料、维修期间设备的吊运。其提升机构按单一故障准则设计，即应具有双钢丝绳卷绕系统加三套制动



反应堆厂房环形吊车

1 —大车旋转机构；2 —司机室；3 —环形轨道及其支承梁；4 —服务电葫芦；5 —悬挂控制箱；6 —大车桥架；7 —提升平衡梁；8 —运行小车；9 —安装小车；10 —主提升机构；11 —副提升机构；12 —弓形架

器，或双传动、双钢丝绳卷绕系统加两套制动器的多重保护措施。还设有超速、超载、超行程保护及故障情况下的手动载荷下降装置。环吊的设计应分别考虑安装工况（吊运压力容器、蒸汽发生器等）和正常使用工况（吊运压力容器顶盖，上、下部堆内构件等），应满足抗震要求。在正常使用工况，即最大临界载荷加极限安全地震引起的载荷下须能保持负载不坠落，大车和小车都设有防倾翻及限位装置。采用两台小车（运行小车加安装小车）方式时，在安装工作完成后，将安装小车卸下供其他环形吊车用。　（撰写：吴明　审订：左民）

fanyingdui chuandi hanshu

反应堆传递函数　reactor transfer function　对给定反应堆参数（例如功率）对于反应性变化的响应的数字表达式。例如，对反应堆中子动力学，其传递函数为如下公式

$$\frac{\delta n}{\delta \rho}=\frac{n_0}{l}\frac{1}{s\left[1+\sum_{i=1}^{6}\frac{\beta_i}{l\,(s+\lambda_i)}\right]}$$

式中 n 为反应堆中子注量率；ρ 为反应性，n_0 为中子注量率初始稳态值；l 为中子有效寿命；β_i 为第 i 组缓发中子份额；λ_i 为第 i 组缓发中子衰变常数；s 为拉普拉斯运算子。

（撰写：赵善德　审订：孙玉发）

fanyingdui dongtaixue

反应堆动态学　reactor kinetics　主要研究短时间内中子注量率随时间变化问题的学科。所研究问题包括堆的启动、功率调节、停堆以及反应堆事故等所引起的各种物理瞬变过程。

（撰写：奚树人　审订：单文志　许汉铭）

fanyingdui fansheceng cailiao

反应堆反射层材料　reactor reflector materials　为了减少漏出堆芯的中子数量，在堆芯周围配置反射层所用的材料。反射层将漏出堆芯的中子反射回堆芯。对反射层材料的要求与反应堆慢化剂相同。因此反射层常采用与慢化剂同样的物质，即水、重水、石墨、铍等。使用反射层可以有效利用中子，使堆芯周边部分的中子注量率增大，堆芯可得到较高而且均匀的中子注量率分布。　（撰写：李文埮　审订：石永康）

fanyingdui fenlei

反应堆分类　classification of reactors　核反应堆可按各种不同的方法分类，如表所示。

反应堆分类

分类的方法	名称和特征．
A 用途	A1 动力堆，用于发电、供热和推进动力，有陆上发电堆、供热堆、发电供热两用堆、舰船推进用堆、飞机推进用堆、火箭推进用堆等 A2 生产堆，有生产裂变燃料 ^{239}Pu 和（或）^{3}H 的核燃料生产堆、同位素生产堆、生产发电两用堆等 A3 研究试验堆，有研究用堆、零功率堆、材料试验堆、高通量试验堆、脉冲试验堆、中子源堆等 A4 特殊用途堆，如材料改性堆、食品辐照堆、医疗辐照堆等
B 中子能量	B1 热中子堆，其中裂变反应主要由热中子（能量约为 0.025 eV）引起 B2 中能中子堆，其中裂变反应主要由超热中子（能量约为 0.2 eV～1 keV）引起 B3 快中子堆，其中裂变反应主要由快中子（能量超过 0.1 MeV）引起
C 核燃料和慢化剂的布置（限于热中子堆和中能中子堆	C1 均匀堆，其中核燃料同慢化剂均匀混合（如铀化合物溶解热中子堆和中能中子堆或悬浮在慢化剂中，形成溶液或浆液） C2 非均匀堆，其中固体或液体核燃料（如熔盐）同慢化剂不相混合
D 核燃料	D1 天然铀反应堆 D2 低富集铀或 U–Pu 混合氧化物（MOX）反应堆 D3 高富集铀反应堆 D4 以 Pu 加转换原料为燃料、可实现 U–Pu 燃料循环的钚堆（有快中子增殖堆、先进热中子堆等堆型） D5 以裂变燃料加 Th 为燃料、可实现 Th–U 燃料循环的钍堆（有轻水增殖堆、熔盐增殖堆、重水堆、高温气冷堆等堆型）
E 慢化剂	E1 石墨堆 E2 重水堆，其中坎杜（CANDU）型为压力管式天然铀重水堆 E3 轻水堆，包括压水堆和沸水堆 E4 氢化锆反应堆
F 冷却剂	F1 气冷堆，可用空气、CO_2、氦、水蒸气等冷却剂，如重水气冷堆、石墨气冷堆、高温气冷堆、气冷快中子堆等 F2 液冷堆，可用水、重水、有机溶液等冷却剂，如石墨水冷堆、沸水冷却石墨堆、沸水冷却重水堆、有机冷却重水堆等 F3 液态金属冷却堆，可用钠、K–Na 合金、铅、Bi–Pb 合金等冷却剂，如石墨钠冷堆、钠冷快中子堆等
G 核燃料转换性能	G1 燃烧堆（无明显的核燃料转换） G2 转换堆（有显著的核燃料转换，但转换比小于 1） G3 增殖堆（核燃料转换比大于 1），包括快中子增殖堆和热中子增殖堆
H 新堆型开发阶段	H1 实验堆 H2 原型堆 H3 商业示范（验证）堆

续表

分类的方法	名称和特征
I 结构形式（不详尽，仅列举常见者）	I1 重水堆有压力容器式与压力管式之分 I2 钠冷快中子堆有池式与环路式之分 I3 高温气冷堆有球床式与柱床式之分 I4 轻水型研究试验堆有游泳池式、水罐式与池内罐式之分
J 空间位置	J1 陆上固定式反应堆 J2 陆上可移动或可拆装式反应堆 J3 海上浮动式反应堆 J4 空间反应堆

按表中的特征，可有几百种不同的组合方式，但只有几十种是可实现的。其中商业上获得成功的陆上发电堆不过六七种；推进动力堆成功的暂限于海上，主要使用压水堆。

（撰写：连培生　审订：陈叔平）

fanyingdui hesheji

反应堆核设计　reactor nuclear design　反应堆堆芯物理设计和反应堆辐射屏蔽设计的统称。堆芯物理设计包括：堆芯临界条件和功率分布的确定、反应性及其控制分析、燃耗分析和堆芯燃料管理。反应堆屏蔽设计包括：确定反应堆屏蔽要求、选取适当的屏蔽材料与屏蔽布置方案、分析屏蔽层内热源和温度分布。设计反应堆屏蔽系统的目的在于保护运行人员免受核辐射可能造成的伤害，减少结构部件所受的辐照。

（撰写：奚树人　审订：单文志　许汉铭）

fanyingduiji bu

反应堆级钚　reactor-grade plutonium　^{240}Pu含量大于18%的钚。钚在自然界中基本不存在，是一个人造元素。在核反应堆中，^{238}U 与中子核反应产生^{239}Pu，进一步与中子核反应生成^{240}Pu, ^{241}Pu, ^{242}Pu 等重同位素，铀燃料在核反应堆中的燃耗越深，生成重同位素的比例越大。^{240}Pu 不是易裂变核素，但自发裂变中子发射率比^{239}Pu 大 4 万多倍，在用钚作原子弹装料时，若钚中^{240}Pu 含量过高，则会引起“过早点火”，降低爆炸当量，不适宜作核武器装料。通常按钚中^{240}Pu含量将钚分为几个等级。五个核武器国家都是用武器级钚制造核武器的，但美国1962年曾用反应堆级钚做过一次核爆炸试验。近来美国几位核武器专家发表文章，从临界质量、自发裂变中子、α 衰变热、放射性辐射剂量等方面论述，认为反应堆级钚能用于制造核爆炸装置，主张对反应堆级钚实施核保障和管制。

钚的等级

Pu 的等级(Pu grade)	^{240}Pu 含量
超级钚 (super-grade Pu)	< 3%
武器级钚 (weapon-grade Pu)	< 7%
燃料级钚 (fuel-grade Pu)	7%～18%
反应堆级钚 (reactor-grade Pu)	> 18%

（撰写：金惠民　审订：严叔衡）

fanyingdui jihe qulü

反应堆几何曲率　reactor geometrical buckling　一个表征中子增殖介质系统（如反应堆系统）的几何形状及尺寸的几何特征量，通常用B_g^2表示。对于裸堆，在外推边界中子注量率$\phi(r)$为零的条件下，求解波动方程 $\nabla^2\phi(r)+B^2\phi(r)=0$ 所得到的最小本征值即为B_g^2。几何曲率的量纲是 cm^2。对于几种标准几何形状的裸堆，几何曲率公式如表所示。

几何形状	尺寸	几何曲率 B_g^2
无限平板	厚度 a	$(\pi\ a^*)^2$
长方体	$a\times b\times c$	$(\pi/a^*)^2+(\pi/b^*)^2+(\pi/c^*)^2$
无限圆柱	半径 R	$(2.405/R^*)^2$
有限圆柱	半径 R 高 H	$(2.405/R^*)^2+(\pi\ H^*)^2$
球形	半径 R	$(\pi/R^*)^2$

注：* 表示堆芯尺寸加上外推距离。

（撰写：奚树人　审订：单文志　许汉铭）

fanyingdui jiliangxue

反应堆剂量学　reactor dosimetry　又称反应堆中子剂量学。以反应堆为中心开展的剂量学研究，与反应堆中子物理学和反应堆屏蔽学密切相关。反应堆剂量学内容十分广泛，包括与反应堆安全相关的监测原理、方法、仪表响应和校准方面研究；也包括堆芯照射核燃料和材料的中子注量、注量率和谱特性、材料受照积分剂量的研究和堆芯外远至压力容器外围材料整体受照剂量问题的研究，以及相关基础数据如中子反应截面及其数据研究等。其基本研究方法是建立反应堆剂量学标准中子场，包括标准、参考和控制环境辐射场。以对实验技术的有效性、应用截面和基本数据的有效性及剂量学数据由监测点外推到感兴趣地方分析方法的有效性进行研究和改进，并能建立计算模型，计算结果与实验一致。目前已建立了一定数量的标准中子场并进行了大量的标准实验，建立了剂量数据库。大大推动了反应堆剂量学的发展。反应堆剂量学不仅对反应堆本身发展和安全非常有益，对新能源的研究也十分重要。如精确的剂量测量可以研究关键材料辐照性能问题，解释材料损伤的结果并外推到聚合反应环境。

（撰写：李景云　审订：容超凡）

fanyingdui jiegou cailiao

反应堆结构材料　reactor structural materials　反应堆燃料组件结构材料和堆内构件材料的统称。燃料组件结构材料是指燃料元(组)件中除核燃料以外的材料；堆内构件材料包括用于制造反应堆容器内除燃料组件(及其相关组件)以外的所有其他构件的材料。对反应堆结构材料的要求是：(1) 热中子吸收截面小（对热中子堆）；(2) 与燃料的相容性好；(3) 抗冷却剂的腐蚀性能好；(4) 辐照损伤小；(5) 感生放射性小；(6) 合适的强度和延性；(7) 热膨胀系数小和导热性好；(8) 加工性能好。由于反应堆类型不同，选用的反应堆结构材料也不相同。天然铀石墨水冷、气冷堆因运行温度较低，采用铝、镁及其合金做反应堆结构材料。轻水和重水动力堆采用锆合金、不锈钢和镍基合金等强度高、抗腐蚀性能好的材料。快中子堆采用奥氏体不锈钢，高温气冷堆采用石墨作为反应堆结构材料。

（撰写：张裕林　审订：李文埮　石永康）

fanyingdui jiegou duanlie lixue

反应堆结构断裂力学　fracture mechanics in reactor structures　研究带裂纹反应堆结构部件的应力应变分析、裂纹扩展规律以及结构抗断裂性能的分支学科。它在反应堆结构设计、建造、运行、退役等各个阶段，都起着重要作用。在反应堆工程中，除充分利用断裂力学本身已经较为成熟的基本理论和方法之外，需要特别注意下列特点：(1) 工作温度对材料延性的影响，一旦工作温度低于“无延性转变温度”，材料失去延性，很容易发生脆性断裂；(2) 中子辐照使材料“无延性转变温度”升高、延性下降、强度提高；(3) 腐蚀介

质可能引起应力腐蚀开裂和加速裂纹扩展。

（撰写：栾 林 审订：张忠岳）

fanyingdui jiegou lixue

反应堆结构力学 structural mechanics in reactor technology 一门分析反应堆结构部件力学性状的分支学科。它涉及许多力学领域，如弹性力学、塑性力学、断裂力学、流体力学、计算力学等。它所处理的问题有：燃料元件和燃料组件及堆内部件的力学性状分析、一回路压力边界应力分析、结构部件缺陷评定及寿命分析、结构动力响应、流致振动、薄壁结构稳定性问题、结构可靠性及概率安全评定等。反应堆构件多在高温、高压、中子辐照和腐蚀环境中工作，工作条件十分苛刻，特别对于大型核电厂的设计和建造，安全要求极其严格；这些情况促进了反应堆结构力学的形成和迅速发展。

（撰写：黄经绍 审订：张忠岳）

fanyingdui jiegou rechongji

反应堆结构热冲击 thermal shock in reactor structures 反应堆结构部件在突然冷却或迅速加热过程中所经受的急剧的热应力瞬时变化。典型的例子是：压水堆发生大破口失水事故后，应急堆芯冷却系统立即启动向堆内注入冷水，从而使压力容器内壁受到剧烈的热冲击。因为压力容器本来处于高压作用之下，骤然冷却的影响将叠加于内压作用之上，这种情况在工程上称之为“承压热冲击”(pressurized thermal shock, PTS)。PTS过程极为短暂，应力变化幅度很大，如果材料由于长期辐照、疲劳、腐蚀等影响，性能退化，延性降低，则PTS可能对压力容器的结构完整性构成严重威胁。此外，如果压力容器本身已有初始缺陷（例如，内壁潜藏裂纹），则PTS极有可能使裂纹迅速扩展。对所有这些问题都需要进行仔细分析，作出合理评价。一般说来，对所有可能经受急速冷却或迅速升温的反应堆结构部件，都应考虑热冲击问题，并设法采取措施对升温、降温速率加以适当限制。

（撰写：黄经绍 审订：张忠岳）

fanyingdui jiegou reyingli

反应堆结构热应力 thermal stress in reactor structures 在外部或内部约束下反应堆结构部件由于温度变化引起的热胀冷缩受到限制而产生的应力。反应堆结构中产生热应力的典型例子有：(1)部件热胀冷缩受到外部约束（如固定支撑）而产生的热应力；(2)部件内部温度分布不均匀、高低温区域热膨胀不同、受变形协调约束引起的热应力；(3)具有不同热膨胀系数材料所组成的组合结构在温度变化时因变形相互约束而产生的热应力。这些例子中的热应力，无论在稳态或非稳态温度场中都可能产生。非稳态温度场引起的热应力的典型例子有：(1)热冲击（参见*反应堆结构热冲击*）；(2)温度交替起伏循环引起的热疲劳；(3)在恒定机械载荷和交变温度场作用下出现的不可逆变形不断积累（即所谓“热棘轮”现象）。这些情况可能导致结构部件突然断裂、疲劳破坏或过度变形等严重后果，是结构设计需要着重关注的问题。

（撰写：栾 林 审订：张忠岳）

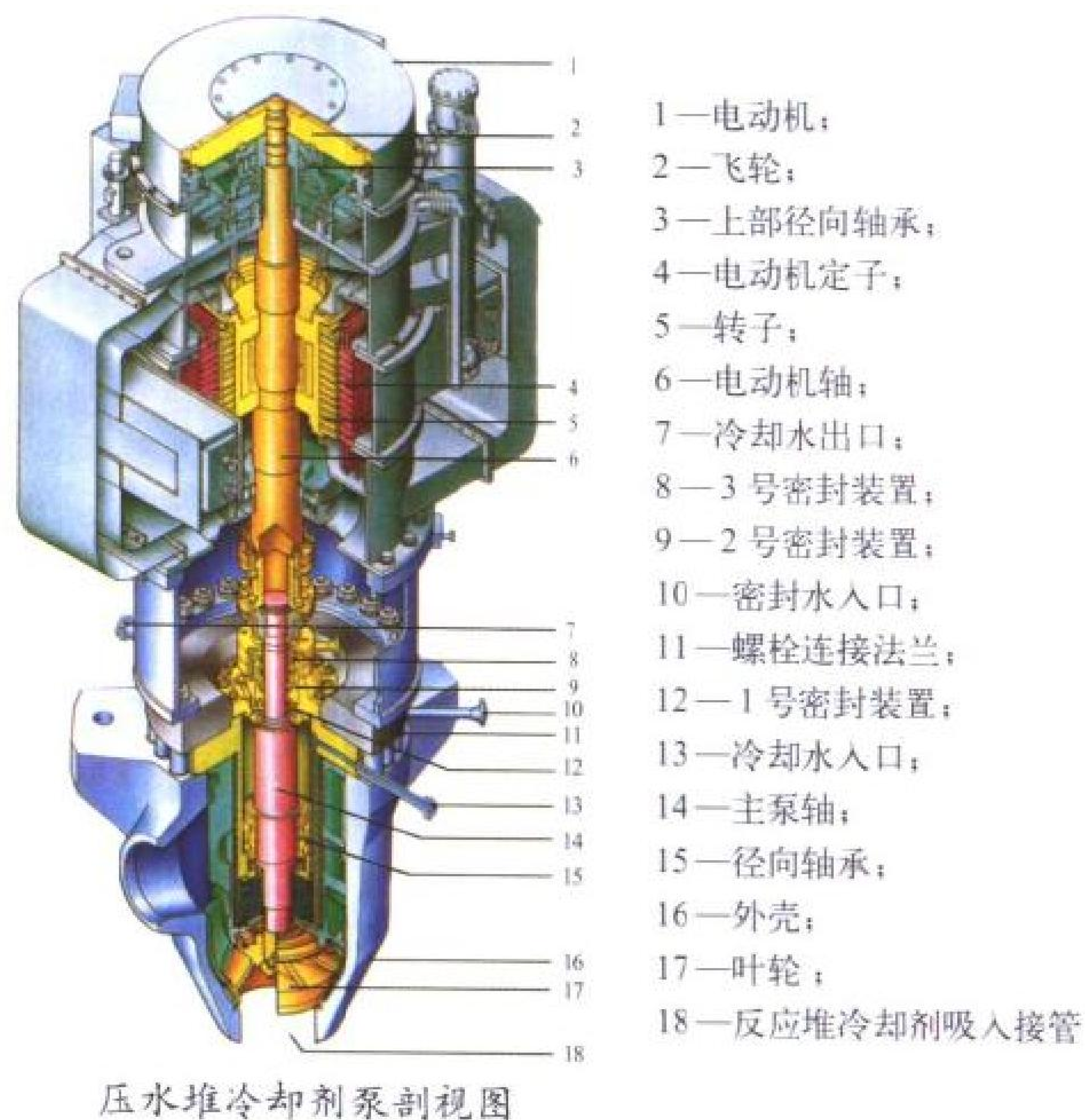
fanyingdui kongzhi cailiao

反应堆控制材料 reactor control materials 又称中子吸收材料。能显著地吸收中子、对反应堆反应性进行控制的材料。反应堆控制材料一般有：(1)固态吸收材料，通常采用80%Ag-15%In-5%Cd合金、铪、B_4C陶瓷制成棒状或板状的控制元件，用以控制和补偿堆芯快速的反应性变化；(2)液态吸收剂，泛称化学补偿剂，如可溶性硼酸溶液，用以控制和补偿堆芯缓慢的反应性变化；(3)可燃毒物，主要用来控制长期反应性变化，使反应堆释热分布合理优化，其材料有Al_2O_3-B_4C、硼玻璃和Gd_2O_3等。控制方式和材料的选择视堆型而定，当今压水堆核电厂大多采用Ag-In-Cd控制棒和冷却剂中加硼酸两种方法协同控制，对换料周期长的高燃耗燃料组件，则采用掺Gd_2O_3的UO_2燃料芯块。

（撰写：张裕林 审订：李文琰）

fanyingdui lengqueji beng

反应堆冷却剂泵 reactor coolant pump 简称主泵。用于唧送反应堆冷却剂、使其在冷却剂回路内循环流动的泵。它有两类：一类是轴封泵；另一类是屏蔽泵。轴封泵的泵壳和电机是分开的，在泵轴上设有动密封结构；而屏蔽泵是把电机和泵体组合在一个全封闭的结构内，因此不产生泵轴的动密封泄漏。目前除舰船用核动力装置中采用屏蔽泵外，在压水堆核电厂中广泛采用轴封泵。轴封泵通常为立式、单级、离心式水泵，由交流感应电动机驱动（见图）。轴密封组件是主泵最关键的部件，通常采用非接触式机械密封装置。为冷却密封组件和控制放射性水的泄漏，由上充泵提供轴封注水。为保证全厂断电时堆芯的充分冷却，主泵的转子上装有飞轮，以增加其转动惯量。



压水堆冷却剂泵剖视图

（撰写：杜圣华 审订：张维忠）

fanyingdui lengqueji cailiao

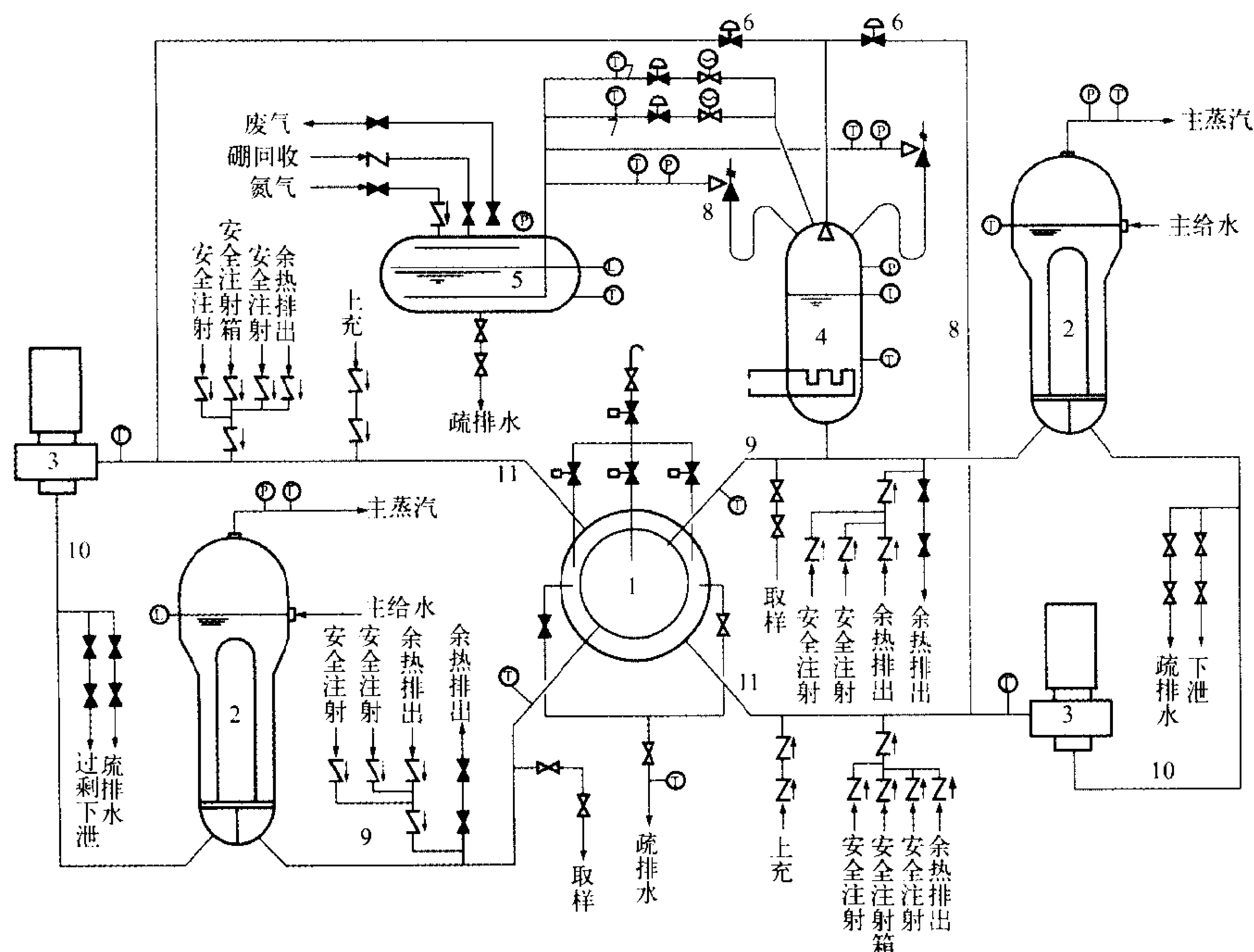
反应堆冷却剂材料 reactor coolant materials 用来冷却反应堆堆芯、并将在堆芯中释放出来的热量载带出反应堆的工作介质。对它的主要要求是：(1)具有良好的热物理性质（比热容大，热导率大，熔点低，沸点高，蒸气压力低等），以便在较小的传热面积情况下，可从堆芯带出较多的热量；(2)热中子吸收截面小（对热中子反应堆），感生放射性弱；(3)黏度低，使反应堆冷却剂泵耗功小；(4)在反应堆中有良好的热稳定性和辐照稳定性；(5)与核燃料和反应堆结构材料有良好

的相容性。热中子反应堆常用的冷却剂材料有：H_2O、D_2O、CO_2和He等。快中子反应堆常用液态金属作冷却剂，如Na, Pb, Na–K合金等。

（撰写：杜圣华　审订：李文埃）

fanyingdui lengqueji xitong

反应堆冷却剂系统　reactor coolant system (RCS)　使反应堆冷却剂在规定的压力、温度条件下循环、并载出堆芯热量的系统。也称一次冷却剂系统、主回路系统或一回路系统（对于间接循环）。它是核动力装置的核心系统，其主要功能为：



压水堆冷却剂系统

1—反应堆；2—蒸汽发生器；3—反应堆冷却剂泵；4—稳压器；5—稳压器卸压箱；6—比例喷雾阀；7—稳压器卸压阀；8—稳压器安全阀；9—主管道热段；10—主管道过渡段；11—主管道冷段

在核动力装置正常运行期间载出堆芯产生的热量，转换成蒸汽或燃气的热能，以驱动涡轮机组做功；在其他工况下为堆芯提供冷却条件。系统作为反应堆冷却剂的压力边界，是防止放射性物质向外释放的第二道重要屏障。压水堆核电厂的反应堆冷却剂系统主要包括反应堆压力容器和两至四条并联的环路。每条环路有一台蒸汽发生器、一台或两台反应堆冷却剂泵（也称主泵），以及把这些设备相连的反应堆冷却剂管道（也称主管道）。此外，本系统还包括一台稳压器（连接卸压箱）及其相连管道和阀门（见图）。本系统全部布置在安全壳内。

（撰写：罗守仁　审订：张维忠）

fanyingdui linjie

反应堆临界　criticality of reactor　在没有外源的情况下，反应堆在任意时间段内由裂变产生的中子数正好等于由吸收和从系统中泄漏而损失的中子数，从而使链式反应以恒定速率持续进行下去的状态。在一定的材料组成和几何布置下，堆芯恰好达到临界时的尺寸称为临界尺寸（或临界大小）。临界尺寸可以由临界方程解出。对应于临界尺寸的体积称为临界体积。对于材料组成相同的堆芯，其临界体积与几何形状有关。由于球的表面积与体积之比最小，中子泄漏最少，因而球形装置的临界体积最小。在一定的材料组成和几何布置下，系统达到临界所需的易裂变物质的质量称为临界质量。

（撰写：奚树人　审订：单文志　许汉铭）

fanyingdui liuliang celiang

反应堆流量测量　reactor coolant flow measurement　对通过反应堆的冷却剂流量的测量。本测量通常是将探测器安装在冷却剂管道上，测得每一条冷却剂环路的流量，再把几条环路的流量相加以得到反应堆冷却剂流量的测量值。对于大型反应堆，一般在环路管道上安装弯管测压元件，测量其压差后算出流量，在新堆建成调试时，要用二回路热功率的测量计算值来校准其额定流量值。对于小型动力堆或试验堆，一般可用文丘利管来测量冷却剂环路的流量。

（撰写：赵善德　审订：孙玉发）

fanyingdui liuti lixue fenxi

反应堆流体力学分析　reactor fluid dynamical analysis　用分析方法研究反应堆内流体运动规律以及流体与结构部件相互作用的学科。主要分析反应堆内单相流和两相流的基本流动特性、流量分配、流动阻力（压降）、流动不稳定性和临界流等。分析方法一般采用连续流体介质模型，以质量守恒、动量守恒和能量守恒等方程作为基本方程。实际分析往往采用数值计算的方法，对于复杂三维流场更是如此。随着计算流体力学和计算机的发展，数值模拟已成为反应堆流体力学分析的主要手段。

（撰写：于湘源　审订：马昌文）

fanyingdui manhuaji cailiao

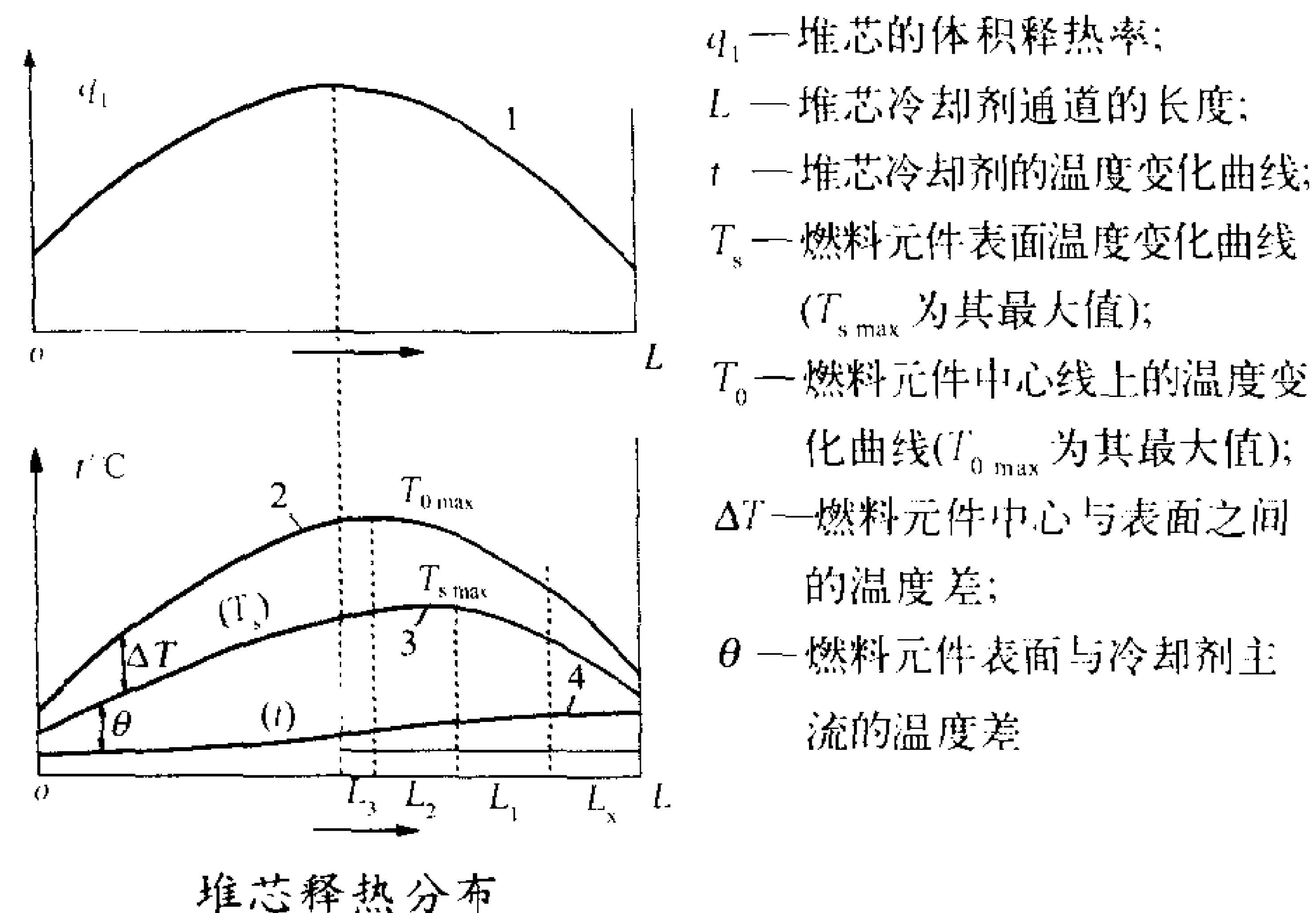
反应堆慢化剂材料　reactor moderator materials　热中子堆内用作降低裂变（快）中子能量的材料。对慢化剂材料的要求是：(1) 慢化中子能力强；(2) 中子吸收截面小；(3) 与反应堆冷却剂材料和燃料棒包壳材料的相容性好；(4) 辐照稳定性好。通常用慢化比来衡量慢化材料的性能，它被定义为：慢化比$=\xi\Sigma_s/\Sigma_a$，式中$\xi\Sigma_s$为材料的中子慢化能力；Σ_s为材料的宏观散射截面；Σ_a为材料的宏观吸收截面；ξ为中子平均对数能降增量。常用的慢化剂材料有水、重水、石墨、铍、氦及某些有机物等轻元素材料。

（撰写：张裕林　审订：李文埃）

fanyingdui nei rechuanshu

反应堆内热传输　heat transfer in reactor　从反应堆内的释热部件通过热传导、对流和辐射等方式，借助冷却剂将热量载带出堆外的过程。主要指燃料元件内热量传出堆外的过程。燃料元件内释热首先使芯块升温，然后通过固体热传导传给金属包壳，再通过对流（主要）及辐射传给冷却剂，使冷却剂升温。冷却剂在泵（或风机）或自然循环力驱动下离开反应堆，将热量载出。通过堆内热传输过程分析，可以求出堆内任

一点处的固体或流体的温度。如图所示，一个压水堆冷却剂通道内体积释热率q_1（曲线1）、燃料元件中心温度T_0（曲线2）、燃料元件表面温度T_s（曲线3）以及冷却剂温度t（曲线4）的分布。



堆芯释热分布

（撰写：马昌文　审订：李全才）

fanyingdui pingbi

反应堆屏蔽　reactor shielding　堆本体、反应堆冷却剂系统、核辅助系统等辐射源的屏蔽的统称。反应堆屏蔽是一个系统工程。早期的反应堆屏蔽在射线减弱计算方面基本上是在少量实验结果的基础上凭经验估算的。随后运行结果表明，要使屏蔽对中子和γ射线的减弱都达到最佳的高效率或经济的效果，需研究很多问题。这在核潜艇和空间应用反应堆的设计建造中特别突出。20世纪50年代中期到60年代中期，屏蔽工艺学得到全面发展，无论是实验装置、基本核数据的获得、射线减弱计算的理论和方法，以及屏蔽材料工艺方面都取得了全面的成功。20世纪60年代以后，随着大型高速电子计算机的开发应用和经过评价的基本核数据库的建立以及计算程序的完善，正常运行的反应堆屏蔽计算已趋成熟。今后在事故，特别是严重事故下潜在照射防护方面还留有一些重要的课题。　（撰写：华旦　审订：吴德强）

fanyingdui pingbi cailiao

反应堆屏蔽材料　reactor shielding materials　用于屏蔽反应堆核辐射的结构材料。反应堆核辐射主要是中子辐射和α，β，γ射线，其中的中子和γ射线的穿透能力强，能够有效地屏蔽此两种辐射的屏蔽结构，自然能够屏蔽α，β射线。因此，对于反应堆屏蔽问题，只需考虑对中子和γ射线的屏蔽。屏蔽中子辐射的途径是使快中子慢化，并将慢化后的中子加以俘获；对γ射线的屏蔽则是直接将其吸收。因此，一般动力反应堆的屏蔽结构通常是由若干种不同功能材料构成的组合系统。屏蔽结构的材料按功能可分为三大类：(1) 重的或较重的元素类材料，主要用以吸收γ射线和将高能中子慢化，使其能量降至1 MeV左右，其典型材料是铁、铅；(2) 中子慢化材料，主要用以慢化能量为1 MeV以下的中子，如含氢材料H_2O等；(3) 俘获中子而不产生高能γ射线的材料，主要有石墨、含硼材料、混凝土等。

（撰写：李文琰　审订：石永康）

fanyingdui regong fenxi

反应堆热工分析　reactor thermal analysis　对反应堆堆芯及整个热传输系统进行的热工计算分析。它与反应堆物理、结构、材料和控制等密切相关。分析时必须全面考虑这些因素。以压水堆为例，首先要由结构设计提供燃料元件和组件几何尺寸与在堆芯内的布置情况；由物理计算提供堆芯释热分布；由总体设计提供堆芯释热功率、主回路冷却剂的压力、流量、入口温度等。根据这些参数进行堆芯稳态热工分析，给出堆芯内冷却剂平均温升，最热子通道内温升、堆芯空泡份额分布、燃料元件表面最高温度、燃料元件内温度分布、偏离泡核沸腾比轴向分布、堆芯内压降分布等。将这些热工分析结果作为物理和结构设计的输入，更准确地确定各自有关参数。再提交给热工方面进行新一轮计算分析。这样反复迭代以求得最令人满意的结果。

（撰写：李全才　审订：马昌文）

fanyingdui regong liuti lixue

反应堆热工流体力学　reactor thermo-hydraulics　研究反应堆内热能的释放、传递以及通过冷却剂系统载出堆外的学科，也称反应堆热工学。核反应堆的功率密度非常高，且在停闭后仍有剩余释热。在确保反应堆安全的前提下将它产生的热能可靠载出和有效利用，是本学科的主要任务。本学科包括反应堆内释热、传热和热量载出、反应堆热工和安全分析、反应堆流体力学以及反应堆热工实验等分支学科。它是一门涉及传热传质、流体力学、设计技术、实验研究、数值分析和理论研究的综合性学科，与核能利用的安全性和经济性密切相关。　（撰写：马昌文　审订：李全才）

fanyingdui regong shiyan

反应堆热工实验　reactor thermal experiment　模拟反应堆冷却剂系统在正常运行和假想事故过程中可能出现的各种热工流体现象、研究其内在规律并建立各参数间定量关系的实验研究工作。利用获得的实验数据和经验关系式及对过程或现象的定量描述，可以改进反应堆热工分析程序中的物理模型和数学模型，使程序的计算结果更接近真实情况。反应堆热工实验分成基础性、单项效应和系统整体综合效应等三类。基础性实验研究基本的流动和传热现象，如流动压降、加热表面与流体之间的传热、两相流中气泡分布和运动规律、两相流中两个相的界面特性等。单项效应实验研究临界热流密度、冷却剂在子通道间的横向流动交混、并联通道间的流量分配和流动特性、两相流动稳定性、高温高压流体喷放热力学以及蒸汽爆炸现象等。系统整体综合效应实验指全系统的模拟实验，如反应堆一回路自然循环特性、反应堆失水事故过程的整体综合模拟实验等。

（撰写：吴少融　审订：姜胜耀）

fanyingdui regong shuili sheji

反应堆热工水力设计　reactor thermo-hydraulic design　通过对反应堆内释热、热量传输、冷却剂流动的压降和流量等方面的计算分析，给出一个优化的反应堆冷却方案。设计内容包括冷却剂的选择、热工水力参数的确定以及进行稳态和瞬态工况分析等。通常利用全面模拟堆芯和系统的大型热工水力计算程序来完成这些工作。反应堆热工水力工况与物理、结构、材料、控制、工艺、辐射屏蔽等诸多因素有关，在设计时必须加以综合考虑。为了确保安全，明确规定了一些设计准则，其内容因堆型而异。以最常见的水冷堆为例，其设计准则为：(1) 燃料元件表面不容许发生偏离泡核沸腾现象；(2) 燃料芯块最高温度必须低于熔点；(3) 不容许发生流动不稳定性。　（撰写：马昌文　审订：李全才）

fanyingdui shange

反应堆栅格 reactor lattice 反应堆堆芯内燃料元件、冷却剂和慢化剂以栅元形式构成的特定规律性排列。反应堆栅格有时根据不同特点冠以各种名称。例如为了强调燃料或慢化剂的成分起名为铀—水栅、钚—水栅或 MOX 栅、轻水栅、重水栅等；以栅格的紧密性分为稠密栅、疏松栅；按堆内是否具有复杂的栅格形式分为均匀栅、非均匀栅、复合栅等。一个完整堆芯也可以根据分析需要划分成多种栅元，如燃料栅元、可燃毒物栅元、控制栅元等。

（撰写：许汉铭 审订：陈叔平）

fanyingdui shanbian

反应堆嬗变 transmutation in reactor 利用反应堆的中子将某种原子核转变成另一种原子核的技术。这里是指利用反应堆中子反应将放射性废物中的次锕系核素（MA）或长寿命裂变产物（LLFP）转变成短寿命或稳定同位素。在反应堆运行时，除易裂变核（^{235}U, ^{233}U 和 ^{239}Pu）产生裂变反应外，还发生中子俘获反应，形成原子序数比 Ac 高的锕系核素，这些核素大多具有很长的半衰期和很高的毒性，除铀、钚外这些核素就称为次锕系核素（MA）。此外，裂变反应时还产生一些长寿命裂变产物如 ^{99}Tc 和 ^{129}I 等。MA 和 LLFP 要求与生物圈隔离数十万年甚至更长的时间才能衰变到无危害水平。如果将它们放到反应堆中，特别是放到快中子堆中进行嬗变，转变成短寿命核素或稳定同位素，则处置工作就简单和经济得多。除了利用快堆的办法外，还有下列方法：利用热中子反应堆的热中子进行嬗变；利用电子加速器轫致辐射产生 10 MeV 光子，并用（γ，n）反应进行嬗变；利用加速器驱动次临界装置的中子进行嬗变；利用聚变堆或聚变—裂变混合堆的中子嬗变等。

（撰写：徐 铼 审订：罗上庚）

fanyingdui shire

反应堆释热 heat release in reactor 反应堆内核裂变产生的热能及其分布。反应堆内易裂变物质的原子核每次裂变大约释放出 200 MeV 的能量。这些裂变能以裂变碎片动能、中子动能、γ 射线、β 射线和中微子等形式释放出来，其中 90% 以上在燃料元件内转变为热能，其余在慢化剂、冷却剂、控制棒及反应堆结构部件内转变为热能。运行中的反应堆释热分布大致与热中子注量率的分布相同，在常见的柱状反应堆堆芯内，释热在径向呈贝塞尔函数分布，轴向呈余弦分布（见图）。反应堆停闭后仍有余热，必须不断排出，以保证反应堆的安全。

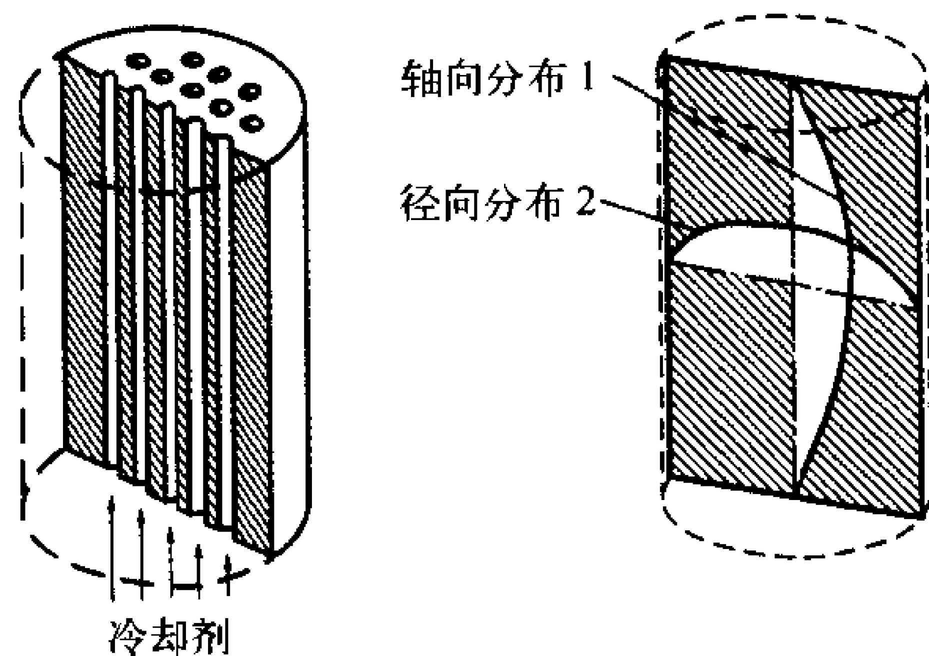


图 1 堆芯示意 图 2 堆芯内的释热率分布

（撰写：马昌文 审订：李金才）

fanyingdui shuihuaxue

反应堆水化学 reactor water chemistry 研究水冷堆一、二回路水介质在高温和强辐射条件下的有害杂质的来源、运动规律、处理手段以及监督方法等的分支学科。试验研究内容包括水介质与接触材料的相容性，腐蚀和腐蚀产物的释放、腐蚀产物的迁移、活化和沉积，裂变产物的释放、水中杂质的净化，有害气体的去除，化学去污和化学清洗工艺，水质分析方法等。设计内容包括制定合理的一、二回路水化学指标，设置相应的水化学系统（如净化系统，化学物添加系统，水质监测系统，化学去污和化学清洗系统等）。在反应堆调试、启动、正常功率运行、停堆和检修期间必须严格进行水化学管理，以保证燃料元件包壳和设备材料的完整性，达到反应堆安全和尽量减小堆外辐射场的目的。

（撰写：樊均福 审订：孙荣绵）

fanyingdui shuili shiyan

反应堆水力实验 reactor hydraulic experiment 研究反应堆系统在各种工况下冷却剂流体的运动规律以及流体与结构件之间相互作用的实验研究工作。主要研究反应堆冷却剂单相流和两相流的基本流动特性、流动压降、流动稳定性、堆芯各并联通道间的流量分配和流动特性、冷却剂在子通道间的横向交混、临界流、压力波传播、水锤效应、两相流中汽—液间的质量交换、热交换器内的流动特性、一回路系统冷却剂自然循环特性、自然循环与强迫循环工况相互转换过程中的流动特性等。在反应堆水力实验研究中广泛应用相似原理和模拟方法。

（撰写：吴少融 审订：姜胜耀）

fanyingdui shuiwei celiang

反应堆水位测量 reactor water level measurement 对反应堆容器内水位的测量。对压水堆是监测反应堆压力容器内的水位。三里岛事故以后，核安全当局要求商用核电厂一律加装水位测量，以监测在发生失水事故后堆芯是否裸露，来判断事故后果。目前商用压水堆核电厂的反应堆水位测量有两种技术方案。一种是从压力容器顶部和底部引出测压管，用差压变送器获得压差测量值，经计算处理获得压力容器水位测量值，用以显示和报警；另一种是应用电加热的电阻温度计等组件，由堆顶伸入压力容器内，当水位下降使被加热的电阻温度计露出水面时，因传热变坏发出报警信号。

（撰写：赵善德 审订：孙玉发）

fanyingdui wuli

反应堆物理 reactor physics 从中子与原子核的相互作用出发研究和确定裂变反应堆物理特性的理论。它的主要研究对象为中子注量率分布、各种反应率分布、临界特性、反应性效应以及反应堆的时间特性。所用到的理论和计算方法包括中子在介质内扩散和慢化的理论（含中子输运理论）、共振吸收理论、非均匀反应堆理论、反应性控制、扰动理论、反应堆动态学以及堆芯燃料管理等。

（撰写：许汉铭 审订：陈叔平）

fanyingdui wuli qidong

反应堆物理启动 reactor physical start-up 在反应堆正式运行前从次临界到临界过程中所做物理实验的统称。反应堆物理启动可用来校正和改进反应堆的理论和设计，但主要目的是通过测量弄清该反应堆的物理性能，以指导今后的运行，保证安全。物理启动由首次达到临界开始，然后在极低功率下测量中子注量率分布、控制棒效率等；然后逐渐提升功率，测量反应性温度系数、功率系数、压力系数、中毒效应等。物理启动的特点是功率要从极低值一直横跨几个量级最终达到

运行功率。因此要利用启动中子源来提高启动的准确度和克服测量上的盲区以保证启动安全。另外，要对临界条件进行估算，作为启动趋近临界的依据。中子探测器的量程变化和γ射线探测器的量程变化要有九个以上量级，要准备几种能覆盖不同范围的仪器，而且每种仪器要同时有三套以满足安全要求。做临界实验时，根据不同堆的特点，趋近临界的方法也不一样，如提高水位、减少堆内控制棒数量或减少堆内中子毒物数量（例如硼浓度）等。物理实验内容与零功率装置上相同，因此方法也基本相同。

（撰写：史永谦　审订：罗璋琳　许汉铭）

fanyingdui wuli shiyan

反应堆物理实验　reactor physics experiment　研究反应堆物理参数及有关核特性的实验。反应堆物理实验不是研究单个中子与原子核的相互作用，而是研究反应堆内中子群体与大量介质核相互作用的宏观结果。这种宏观结果反映在反应堆的“宏观”参数中，如中子扩散长度、材料曲率、反应性等。按照中子密度随时间变化规律的不同，反应堆物理实验可分为三类：(1) 静态测量：以稳态中子注量率的测量为基础，不涉及中子注量率随时间的变化。这类实验通常在临界状态下进行。(2) 动态测量：测量反应堆内中子注量率随时间变化的规律，得出动态参数，如反应性、传递函数等。这类实验也可在超临界或次临界状态下进行。(3) 反应堆噪声分析（参见反应堆噪声）。　（撰写：史永谦　审订：罗璋琳　许汉铭）

fanyingdui xian zhendang

反应堆氙振荡　reactor xenon oscillation　热中子反应堆内由于^{135}Xe浓度与中子注量率空间分布和时间特性的耦合作用而引起的功率分布的空间振荡。堆芯某一区域由于某种扰动，例如移动控制棒，会使中子注量率分布发生变化。在中子注量率降低的区域，^{135}Xe的消耗随之减小。但是原来在高中子注量率情况下生成的^{135}I母核仍在继续衰变成^{135}Xe，故^{135}Xe将因为消失率的减小而浓度增加，该区域中子增殖性能的变坏将造成中子注量率和功率密度进一步的降低。类似地，在中子注量率升高的区域，中子注量率和功率密度会进一步上升。经过一段时间后，在中子注量率降低了的区域内，随着^{135}I产生量的减少，衰变成^{135}Xe的量也会逐渐减少，又会使该区域^{135}Xe的浓度由原来的增加逐渐转为减小，从而使该区中子注量率由原来的下降转变为上升。这种过程会反复循环下去。这样各区的功率密度、中子注量率和^{135}Xe浓度就会产生相位不同的振荡，简称氙振荡。氙振荡方式有径向、轴向和方位角方向上的振荡。氙振荡过程取决于反应堆的中子注量率水平和有关的物理特性。氙振荡的周期大约是15~30 h。如果氙振荡不能及时地加以控制，则会危及反应堆安全。

（撰写：奚树人　审订：单文志　许汉铭）

fanyingdui yali rongqi

反应堆压力容器　reactor pressure vessel　用于容纳和支承堆芯和堆内构件、以及装设控制棒驱动机构的部件。它作为冷却剂的压力边界，是防止放射性物质向外释放的一道重要屏障。压水堆的压力容器由圆柱形筒身和带有法兰的球形顶盖组成。筒身与顶盖用螺栓连接，并用金属O形环密封。筒身上焊有反应堆冷却剂进、出口接管。压力容器顶盖上焊有管座，用于装设控制棒驱动机构和温度测量装置。反应堆压力容器材料为低合金钢，内壁衬以超低碳不锈钢和局部镍基合金堆焊层。在吊篮筒体外侧设置辐照监督管，内装压力容器材料和主焊缝的试样，将它们定期送往热室进行检验，以监测压力容器辐照损伤的程度。近代核电厂不断改进合金钢锻件抗辐照能力，控制材料中磷、硫元素含量，可使反应堆压力容器设计使用寿命延长到60年。

（撰写：杜圣华　审订：潘系人）

fanyingdui yali rongqi cailiao

反应堆压力容器材料　materials for reactor pressure vessel　反应堆压力容器母材、焊接材料以及螺栓、螺母等部件材料的统称。反应堆压力容器是受到强烈中子辐照、承受高温高压的大型设备，主要用来装载反应堆堆芯和密封高温高压的冷却剂，由半球形底封头、球形顶盖和圆柱形筒体组成。它的完整性对核电厂的安全极为重要。因此，对反应堆压力容器材料有严格的要求，它们应具有合适的机械性能、良好的加工和焊接性能以及抗中子辐照脆化性能。轻水堆压力容器的母材普遍采用锰—镍—钼系低合金钢。

（撰写：张裕林　审订：杜圣华）

fanyingdui yibiao he kongzhi xitong

反应堆仪表和控制系统　reactor instrumentation and control system (I&C)　对核反应堆进行监测和控制所用的仪表设备和系统。反应堆仪表和控制系统分安全级（1E级）和非安全级两部分，前者为执行反应堆保护功能和事故后测量功能的系统，后者为保证反应堆正常功率运行需要的所有仪表控制系统。安全级系统必须遵循保护系统准则，其设备一般属非标准设备，并要通过安全级规定的各种形式试验，其系统要满足单一故障准则和定期试验准则。安全级系统与非安全级系统之间，在电气上必须隔离，在布置上必须实体分隔，在供电上也要分开。　（撰写：赵善德　审订：孙玉发）

fanyingdui zaosheng

反应堆噪声　reactor noise　夹杂在反应堆正常运行信号中的随机信号。反应堆噪声是由于核过程的随机性、松脱部件的机械撞击以及流体动力过程的无规则涨落引起的。反应堆正常运行时输出的稳态运行参数有功率、压力、温度等等。反应堆噪声信号夹杂在稳态运行输出参数值中，就像在和谐的音乐中夹杂着噪声一样。目前反应堆噪声已经作为动力堆的一种信息资源被研究、开发和利用。反应堆噪声有核噪声和非核噪声两类。核噪声起源于每次核裂变产生的中子数的概率不遵守离散事件的泊松分布。非核噪声因堆型而异，但基本上起源于反应堆的流量、温度、压力和含汽量的无规则变化以及燃料变形、结构振动、松脱部件撞击和局部沸腾等。反应堆噪声分析技术已发展成一种专门学科，用于反应堆运行故障诊断和监测的新手段。

（撰写：罗璋琳　审订：史永谦　许汉铭）

fanyingdui zhengti shuili moni shiyan

反应堆整体水力模拟试验　reactor integral mock-up hydraulic test　研究整个反应堆内部冷却剂流动特性的试验。主要研究各燃料组件之间的流量分配、堆内某些构件的漏流、燃料组件和堆内构件的流动阻力特性、下腔室和上腔室内的流场和流体交混等。这类试验通常按照相似原理、用缩小比例的模型进行，采用的介质通常为常温常压的水和空气，以便于观察和测量。　（撰写：吴少融　审订：姜胜耀）

fanyingdui zhouqi

反应堆周期 reactor period 反应堆中子注量率按指数规律变化e倍所需的时间。对于一个具体的反应堆来说，反应堆周期T的大小取决于引入堆内的反应性。在反应性引入后的短时间内，中子注量率并不按指数规律变化，只有在经过一段时间后，瞬变项消失，中子注量率的变化才遵循指数规律，因此，反应堆周期又称为稳态周期或渐近周期。反应堆周期的倒数称为反应堆时间常数。在实际应用中，也常使用中子注量率变化1倍所需的时间，称为倍周期。

（撰写：奚树人 审订：单文志 许汉铭）

fanyingdui zhouqiji

反应堆周期计 reactor period meter 与探测器相连、用于测量反应堆时间常数的电子设备（参见反应堆周期）周期计可以按中子注量率增加e倍所需时间、倍增时间等为单位进行刻度。反应堆周期测量常用于反应堆启动过程的安全监测，也用于反应堆启动保护。（撰写：赵善德 审订：孙玉发）

fanyingdui zhukongzhishi

反应堆主控制室 reactor main control room 为操纵员提供实现反应堆运行目标所必需的人机接口和有关信息设备并进行操作的房间。对核电厂而言，主控制室的主要目标是使核电厂在所有运行工况和事故工况下都能安全、有效地运行。主控制室还应提供适宜的工作环境，以利操纵员执行监视和操作任务。主控制室的设计必须考虑在核电厂设计基准事件和事故工况发生之后，仍能用它使电厂恢复到安全状态。为了提供各功能的最佳分配，保证人与机器能最大限度地发挥能力，并使核电厂安全、可用，它的设计还须特别注意人因原则和人的特性，即要贯彻人因工程原则。操纵员的配备和



反应堆主控制室

培训是控制室系统和运行管理的一部分，为了使核电厂最安全和最有效地运行，主控制室必须配备数量足够并有专业技能的工作人员。为了帮助主控制室操纵员对异常运行工况作出反应，在应急工况下，应急响应设施应能投入运行。

（撰写：赵善德 审订：孙玉发）

fanyingdui ziwendingxing

反应堆自稳定性 reactor self-stability behaviour 稳定运行的反应堆在受到某种扰动偏离原来平衡状态后，能自动达到新的平衡状态的属性。它是反应堆固有安全性能的一项重要标志。反应堆的自稳定性与反应堆的反应性系数有关，负的反应性系数将导致良好的自稳定性。

（撰写：奚树人 审订：单文志 许汉铭）

fanying Q zhi

反应Q值 reaction Q value 见核反应。

fanyingxing

反应性 reactivity 表征链式裂变反应介质或系统偏离临界的程度，它是反应堆的有效中子增殖因子k和1之差与k之比，即反应性$\rho=(k-1)/k$。在临界状态下，$k=1$，反应性ρ为零。在超临界状态下，$k>1$，反应性$\rho>0$。在次临界状态下，$k<1$，反应性$\rho<0$。反应性可以表示成百分数、pcm（10^{-5}），也可以用缓发中子总份额β作为单位，即以“元(S)”来表示。1元反应性表示数值为β的反应性。后备反应性是指在所有的控制毒物（如控制元件、可燃毒物和化学补偿毒物等）全部移出堆芯的条件下反应堆具有的反应性。一般说来，一个新的堆芯在冷态无中毒情况下的初始后备反应性为最大。

（撰写：奚树人 审订：单文志 许汉铭）

fanyingxing kongzhi

反应性控制 reactivity control 对反应堆的反应性进行的控制。其任务是：(1)在确保安全的前提下，采用不同的控制方式使反应堆在运行中具有所需的反应性；(2)通过控制毒物适当的空间布置和最佳的提棒程序，使反应堆在整个堆芯寿期内保持较平坦的功率水平，使功率峰因子尽可能小；(3)在负荷变化时能调节反应性使之相适应；(4)在反应堆出现事故时，能迅速安全地停闭反应堆，并保持适当的停堆深度。核反应堆初始的燃料装载量必须比维持临界所需的量多很多，因为在运行时，由于燃料的消耗和裂变产物的积累等原因，堆芯原来的有效增殖因子k会逐渐下降。此外，为补偿如温度及功率变化等引起的反应性亏损，也需要附加的后备反应性。为了控制或补偿剩余的后备反应性，必须在堆芯内引入适量的可随意调节或控制的负反应性。控制反应性最常用的方法是：(1)在堆芯插入可移动的吸收材料棒，即控制棒；(2)在堆芯内放置固定的吸收材料，随燃料一起燃耗，起补偿堆芯反应性的作用，称为可燃毒物；(3)在冷却剂中可调节地注入像硼酸之类的化学补偿毒物。

（撰写：奚树人 审订：单文志 许汉铭）

fanyingxing xishu

反应性系数 reactivity coefficient 反应堆的反应性相对于某一个参数的变化率称为该参数的反应性系数。如反应性相对于温度的变化率称为反应性温度系数，反应性相对于冷却剂空泡份额的变化率称为反应性空泡系数，反应堆每单位热功率变化所引起的反应性变化称为反应堆功率系数等。参数变化引起的反应性变化将造成反应堆中子密度或功率变化，该变化又会引起参数进一步变化，这就造成了一种反馈效应。反应性系数的大小决定了反馈的强弱，为了保证反应堆的安全，要求反应性系数为负值，以便形成负反馈效应。核燃料温度变化1K引起的反应性的变化称为燃料温度系数。它主要由燃料核共振吸收的多普勒效应引起，又称为多普勒系数。反应堆的热量主要在燃料中产生，燃料温度的变化对反应堆功率的变化的响应是瞬时发生的，所以燃料温度系数属于瞬发温度系数，它对抑制功率增长起着重要的作用。慢化剂温度变化1K所引起的反应性的变化称为慢化剂温度系数。由于热量是在燃料棒内产生，再通过包壳传递给慢化剂，这需要一段时间，因而慢化剂的温度效应滞后于功率的变化，故慢化剂温度系数属于缓发温度系数。综合各种因素，慢化剂

的温度系数可正可负。特别是在慢化剂内含有化学补偿毒物时，正效应更为明显。冷却剂内空泡份额变化百分之一所引起的反应性变化称为空泡系数，一般说来，对于轻水堆是负效应；而对大型快中子堆，可能出现正效应。反应堆功率发生变化时，堆内核燃料温度、慢化剂温度和空泡份额将发生变化，从而引起反应性的变化，因而，功率系数是所有反应性系数的综合。为了保证反应堆安全和运行稳定，功率系数应在整个寿期内保持为负值。

（撰写：美树人　审订：单文志　许汉铭）

fanyingxingyi

反应性仪　reactivity meter　与一个或多个探测器相连、用于指示核反应堆反应性的电子仪器。反应性仪的原理是将核功率测量值作为输入，经中子动力学方程计算出堆内的（合成）反应性。由于核功率测量常会受到反应堆控制棒棒栅位置的影响，因此需作消除此影响的修正。目前反应性仪都利用数字计算机进行计算和输出处理，使反应性仪的精度提高、无漂移、功能强和人机接口好。在反应堆启动、运行、换料等操作中，反应性仪常用来测定反应堆的后备反应性和控制棒刻度等。

（撰写：赵善德　审订：孙玉发）

fanyingxing yinru shigu

反应性引入事故　reactivity-insertion accident (RIA)　核反应堆在各种设计工况下意外引入正反应性导致堆功率剧增的事故。其原因可能是：(1) 控制棒意外抽出（提棒事故）；(2) 控制棒弹出（参见*控制棒弹出事故*）；(3) 冷却剂中硼意外稀释（硼失控稀释事故）；(4) 主系统过度冷却（冷水事故,参见*主蒸汽管道破裂事故*）。功率运行时控制棒失控抽出或弹出会导致功率急剧上升，若不及时停堆，可能使燃料元件烧坏或炸得粉碎。保护系统应设置多种停堆信号（高功率、稳压器高压、超功率 ΔT、超温 ΔT）来加以应付。启动过程中的失控提棒极有可能导致瞬发临界，堆芯必须具有合适的多普勒反馈效应才能抑制功率增长，此后才由控制棒下落停堆。意外硼稀释是由于化学和容积控制系统误动作，向一回路注入低硼浓度冷却剂所引起，此时堆功率升高要由“高功率停堆”信号加以保护。为防止硼意外稀释造成不可接受的后果，操作规程应有严格规定，限定低硼浓度冷却剂输运通道及主系统的补水速率。

（撰写：俞尔俊　审订：陈叔平）

fanying yuneng

反应阈能　threshold energy for reaction　见*核反应*。

fanzaiti

反载体　holdback carrier　在放射化学分离过程中使用的一种与载体起相反作用的常量物质。用共沉淀法从含有多种放射性核素的溶液中分离某种核素时，常有其他核素被沉淀吸附或夹带，使被分离核素污染。为了减少这种污染，在溶液中加入沾污核素的常量稳定同位素，对沾污核素进行稀释，改变其超微量状态，并一起保留在溶液中，从而大大降低被吸附和夹带的量。这种常量的稳定同位素起着与载体相反的作用，故名为反载体。例如在沉淀铬酸钡分离放射性核素 ^{140}Ba 时，加入锶反载体，能提高对 ^{89}Sr 的去污因数。

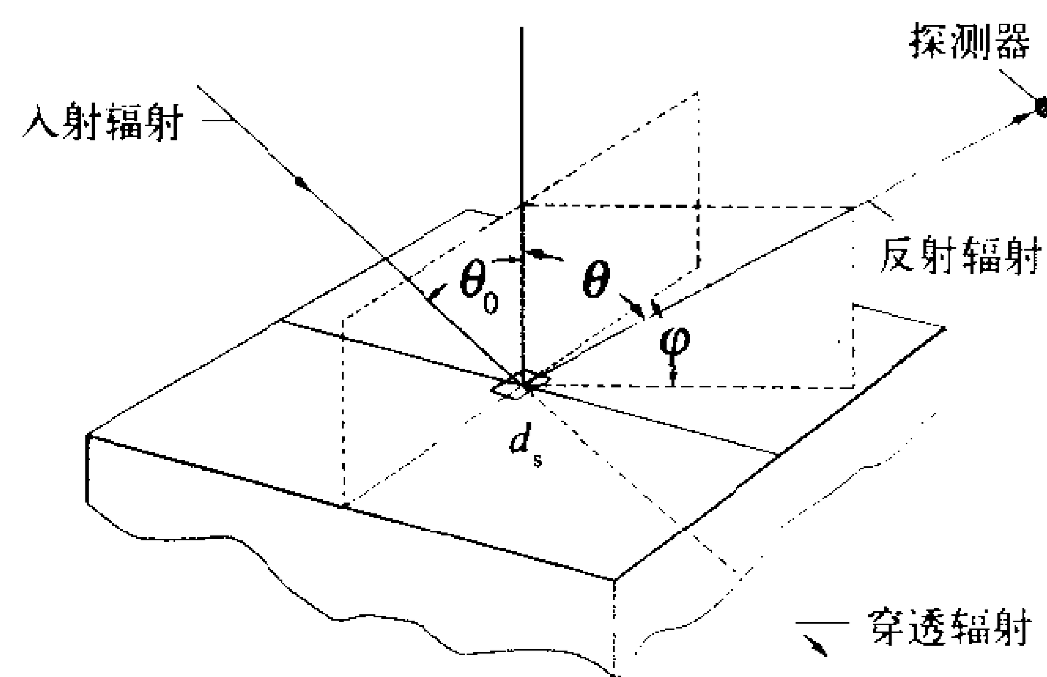
（撰写：郭景儒　审订：崔安智）

fanzhaolü

反照率　albedo　又称反射率。辐射通过介质表面入射并从同一表面返回的概率,用以描述各种介质对辐射的反散射特性。虽然辐射可能在不同的深度被反射，但在反照率理论中一般假定反散射粒子都是从物体表面与入射点相同的位置射出的。如图所示，设能量为 E_0 的窄束粒子流入射到半无限散射体表面 d_s 处，入射角为 θ_0，入射通量密度为 $I(E_0, \theta_0)$；从 d_s 表面反射至 (θ, φ) 方向的单位立体角，能量为 E 的单位能量间隔内散射粒子的通量密度为 $I(E, \theta, \varphi)$；则反照率 $\alpha(E_0, \theta_0, E, \theta, \varphi)$ 可用下式表述

$$\alpha(E_0, \theta_0, E, \theta, \varphi)=I(E, \theta, \varphi)/I(E_0, \theta_0)$$

在实际应用中，反照率的具体定义可有多种：按辐射量分有粒子数反照率、能量反照率和剂量反照率等；按反散射粒子的能量与方向分有包括整个能量与角度范围的总反照率，对能量或角度微分的一次微分反照率以及对能量与角度都微分的二次微分反照率；还可以按粒子种类分为中子反照率和γ辐射反照率等。介质交界面的中子反照率是反应堆设计的重要参数。在辐射防护中利用辐射反照率可估算各种界面的反散射辐射量，解决辐射源屏蔽室的迷道和贯穿孔道设计等问题。人体对中子的反散射是中子个人剂量计可利用的慢化条件。



辐射反照率定义示意图

（撰写：胡遵素　史永谦　审订：潘自强　许汉铭）

fang

钫　francium　一种天然放射性元素，化学符号Fr，原子序数87。属周期系IA族。1939年法国人M.佩雷（Perey）在研究铀矿中 ^{227}Ac 的衰变产物时发现了 ^{223}Fr。为纪念发现者的祖国——法国（France）而命名。现已发现质量数201～232的全部钫同位素。其中半衰期最长的同位素是 ^{223}Fr (21.8 min)。金属钫为体心立方晶格，熔点27 ℃，沸点667 ℃，密度2.48 g/cm^3 (20 ℃)。钫原子的电子构型为 (Rn) $7s^1$，氧化态为+1，化学性质活泼。大部分钫盐都是水溶性的。微量钫能被高氯酸铯、氯铂酸铯以同晶共沉淀方式载带。

（撰写：张志尧　修订：郭景儒　审订：崔安智）

fangchuan shentou cailiao

防氚渗透材料　materials for protection of tritium permeation　防止氚渗透的材料。在氚生产、提取、纯化、运输和贮存过程中要防范氚的渗透。常用的方法是采用具有防氚渗透能力的材料，如有机材料和金属材料。有机材料的防氚渗透能力顺序是：丁基橡胶＞天然橡胶＞氯丁橡胶。金属和合金材料的防氚渗透能力顺序是：钨＞铝＞钼＞不锈钢。在金属表面涂氧化物、氮化物、碳化物，也能改善金属材料的防氚渗透能力。氚在材料中的渗透率与氚在材料中的溶解量、材料温度、材料的表面状态和微观结构以及氚中气体杂质等因素有关。

（撰写：卢浩琳　审订：韩廷德）

fangdong fugai

防氡覆盖 close out clad of protection radon 针对铀废石、尾矿中含有铀镭及其子体，它们不断衰变并释放氡及子体，高水平的氡和氡子体可危及公众健康，因而对退役后的废石堆和尾矿库进行覆盖。防氡覆盖使氡的析出率控制在标准以下 [0.74 Bq/(m²·s)]，降低氡及子体对公众的危害。防氡覆盖厚度的估算有两种方法：一种是实验确定；另一种是计算。实验得到的不同铀尾矿的不同覆盖厚度与氡析出率关系曲线如图所示。

覆盖厚度与氡析出率关系曲线

（撰写：潘英杰 审订：赵亚民）

fangganyu zhuangzhi

防干预装置 guard-against device 在一些装有核材料的设施上安装的能对非法操作或侵袭有显示或报警的装置。它便于保卫人员在当时或事后发现这种非法侵袭。防干预装置一般装在核材料存放容器、运输容器、操作设备、在内区的重要通道和门、窗等地方。例如，在核动力厂里，平时对核燃料贮存水池的吊车和水池入口的门上都加“铅封”，这种铅封如遇外力，就会产生不可恢复的变形和变色。警卫人员事后据此就可发现该装置是否有人动过。又如，在核材料贮存容器或运输容器上除装有类似上述的“铅封”外，同时还装有报警装置，通称为防干预装置。（撰写：薛伟贤 审订：董柏年）

fanghu qixie

防护器械 protective apparatus 为防止放射性物质污染工作人员体表或进入体内，或为了减少外照射而使用的器械。防护器械主要指用于增大操作人员与辐射源距离的器具和为了限制或减少辐射对人体的照射而施加的辐射屏蔽以及防止污染外泄的密封操作设备。例如：(1) 在外照射防护中采用的具有不同功能的长柄器械或机械手、机器人；根据辐射源的辐射性能、屏蔽材料的辐射屏蔽性能以及按照辐射防护标准而设计的对电子、X 或 γ 射线、中子的屏蔽设施。(2) 在内照射防护中使用的操作器械（如镊子、钳子及开盖器）、组合操作设备（如遥控吸移装置）、污染控制设备（如通风橱、手套箱）、屏蔽设备（如铅砖屏、移动屏等）、密封屏蔽设备（如屏蔽工作箱）等。

（撰写：高增林 审订：张延生）

fanghu yiju

防护衣具 protective clothing 为了防止工作人员体表和体内被有毒有害物质污染或防止工作人员身体表面或体内有毒有害物质污染工作环境所使用的衣服及保护用品。在辐射防护领域防护衣具特指为防止工作人员体表和体内被放射性物质污染，或为了减少外照射而使用的衣服、器具。防护衣具分类比较复杂，按辐射防护要求可简单分为基本防护衣具及附加防护衣具两类，前一类指各种类型的工作服、工作帽、鞋靴、手套和口罩；后一类指因工作环境需要补充的防护衣具，如各种类型的薄膜工作服、气衣、围裙、袖套、鞋套、头盔、面具、防护眼镜及呼吸器等。附加防护衣具可根据放射性分区或使用的放射性核素的种类、数量、性状和操作方式选定。对防护衣具的基本要求是：防护性能好，表面光滑，不易污染且易去污，耐腐蚀，化学稳定性高，结构简单，使用方便，穿着舒适，材料来源广泛，价格便宜。防护衣具等个人防护器材，一般地只是一种必要的辅助手段。防护的重点应放在工作场所的固有安全上。例如，呼吸器不应被用来代替厂房通风或其他安全措施。

核化学化工操作中所用的防护服

（撰写：高增林 审订：张延生）

fanghuo

防火 fire protection 核设施防止火灾和防止爆炸的措施。核设施在布置安全重要建筑物，系统和部件时，除满足其他安全要求外，必须尽量降低外部和内部事件引起火灾和爆炸的可能性及其后果。作为最低要求必须保持停堆，排出余热和包容放射性物质的能力。在安全重要场所，凡属可行，必须采用不可燃的或阻燃的和耐热的材料，必须设置足够容量和能力的火警检测和灭火系统。

（撰写：王秀清 审订：俞尔俊）

fanghuo cuoshi

防火措施 fire protection measures 核设施和构筑物在设计和运行中采取的各种将失火可能性降至最小的方法和(或)措施。核设施防火和由火引起的爆炸是一个重要的安全问题。核设施在所有情况下都必须具备足够的防火能力。核设施防火措施主要有三个方面：(1) 在设计和运行中采取各种预防措施将失火的可能性降至最小；(2) 火警的早期探测和及时灭火；(3) 采用屏障和(或)距离来限制火灾的影响。

（撰写：王秀清 审订：俞尔俊）

fanghuo pingzhang

防火屏障 fire barriers 核设施和构筑物局部的或整体的用于限制火灾后果的结构屏障。首先要进行火灾危害性分析，在确定安全重要物项；火灾的危害后果；防火设施类型；防火区边界所要求的耐火能力等基础上，分析计算出防火屏障的规模和位置。（撰写：王秀清 审订：俞尔俊）

fangxingqi zhuangzhi

仿星器装置 stellarator 用外电源供电的磁体来产生磁面的核聚变实验装置。仿星器与托卡马克一样，也是利用闭合的环形磁面约束等离子体的（见图）。

Wendelstein VII-AS 仿星器示意图

把托卡马克大环扭曲成 8 字形或用一组外部扭曲的螺旋线圈来产生扭曲或用特殊设计的环向场磁体形状与布局都可以产生磁面结构。仿星器的最大优点一是它不需要用等离子

体电流来产生磁面，因而比较容易实现稳态运行，另一个优点是不会产生导致聚变堆事故的大破裂。它的磁体结构十分复杂而精确，制造和调整的工艺要求很高。

（撰写：钱尚介　审订：黄　林）

fangchong fuheshang

放冲复合伤　combined radiation-blast injury　由电离辐射和爆炸冲击波同时或相继作用于人体造成的以放射损伤为主复合冲击伤的复合损伤。严重核事故或核武器爆炸产生的中子和γ射线辐射会引起人体的急性放射损伤；爆炸生成的强烈高速高压气流冲击波，以超压和负压的直接作用和动压的抛掷撞击作用，能直接或间接造成人体器官组织的闭合性或开放性机械损伤，如颅脑、听觉器官及内脏器官的出血、水肿、穿孔、破裂以及骨关节损伤等。放冲复合伤的临床表现，既有急性放射病基本特征，又有直接或间接冲击伤的临床表现。一般而言，对单一放射损伤或冲击创伤的有效药物和治疗措施，均适用于放冲复合伤。但是，严重的放冲复合伤对人体损伤的面广，伤及到的重要器官组织多，病情危急发展快，损伤部位隐蔽难发现，因此常会对伤情及医疗处理的难度估计不足而贻误治疗，这也是放冲复合伤病例早期死亡的重要原因。对已治愈病例，仍需定期进行严密的医学随访，如发现伤残及辐射引起的远后效应，需作相应的医学及其他善后处理。　（撰写：刘雁玲　审订：孙世荃）

fangshao fuheshang

放烧复合伤　combined radiation-burn injury　由电离辐射和热力同时或相继作用于人体造成的以放射损伤为主加上烧伤的复合损伤。严重核事故或核武器爆炸会产生中子和γ射线



放烧复合伤

1—原爆时身穿带格衣服对皮肤烧伤影响；
2—衣服颜色深浅不同对热辐射吸收皮肤烧伤影响；
3—双小腿屈侧皮肤的热辐射烧伤，距爆心 900 m；
4—落下灰损伤。帽子覆盖处头皮完好，面部皮肤β损伤
以上照片由日本广岛大学原子能研究所 1985 年赠

辐射会引起人体的急性放射损伤；瞬间的光辐射和光焰又可招致体表皮肤烧伤，严重时可合并呼吸道和眼烧伤。放烧复合伤的临床表现，既有急性放射病基本特征，又有烧伤临床表现。放烧复合伤往往会产生两种损伤相互加重的复合效应。一般而言，对单一放射损伤或烧伤的有效药物和治疗措施，均适用于放烧复合伤。对烧伤伤面的处理应及早进行，力争在放射损伤极期到来之前促使伤面愈合，需要作复杂手术治疗的烧伤，可在放射损伤进入恢复期后再进行。放烧复合伤病例治愈后，仍需定期进行严密的医学随访及健康观察。对辐射引起的远后效应及严重烧伤后期的瘢痕挛缩畸形，均需作相应的医学及其他善后处理。

（撰写：刘雁玲　审订：孙世荃）

fangshebing

放射病　radiation sickness　电离辐射引起的疾病。按辐射剂量大小、受照射时间长短和起病急缓，分为急性和慢性放射病。又可分为外照射和内照射放射病。全身数日内受到大于1 Gy外照射可引起外照射急性放射病。除分为骨髓型、肠型和脑型三型外，其病程一般分为初期、假愈期、极期和恢复期或死亡四个阶段。照后1～2天内初期表现、淋巴细胞数可作出初步分型分度诊断。细胞遗传学、淋巴细胞微核、早熟染色体凝集检查、物理剂量估算进一步确诊。按病情进行综合对症治疗，促进造血功能恢复包括辐射防治药物、造血生长因子等。9 Gy以上需同种异基因造血干细胞移植。全身受到过量照射（平均年剂量 0.15 Gy或最大年剂量 0.25 Gy）、数年内累计超过 1.5 Gy 外照射作用后可发生以造血组织为主，并伴有其他系统改变的外照射慢性放射病，多在极其恶劣工作条件或缺乏有效防护措施下发生。大剂量放射性核素进入体内，可发生急性内照射放射病，临床表现犹如外照射引起者。但有主要沉积器官（靶器官）选择性受损等特点。除立即脱离污染环境、洗消体表污染外，尽可能争取时间进行整体测量和留取尿、粪等排泄物进行测量以推算进入体内的量。治疗措施包括阻止放射性核素的吸收和加速放射性核素的排出。内照射慢性放射病十分罕见。

（撰写：叶根耀　审订：孙世荃）

fangshe dulixue

放射毒理学　radiotoxicology　放射毒理学是研究外源性放射性核素对机体毒性作用规律及预防、诊断、治疗的科学。主要研究：(1) 放射性核素的吸收、生物转运和生物转化及其动力学模式；(2) 内照射作用的特点、损伤规律及剂量效应关系；(3) 研究毒物自体内减少吸收及加速排出的措施；(4) 鉴定及检测环境及生物样品中的放射性核素的性质与活度，应用相应代谢参数及模式估算内照射剂量，从而对毒物进行危害评估。在此基础上，结合辐射防护的一般原则及规定，制定内照射的防护标准及管理细则。

（撰写：吴德昌）

fangshe fenxi huaxue

放射分析化学　radioanalytical chemistry　研究放射性物质的分离、分析以及核技术在分析化学中的应用的科学，是放射化学的一个分支。利用核素或核反应的特性及化学分离和核辐射测量等手段发展了具有灵敏度高、取样量小甚至不破坏样品等优点的分析方法。包括中子、带电粒子和光子活化分析，质子激发和同位素激发的X射线荧光分析，放射化学分析，同位素稀释分析，穆斯堡尔谱学和正电子湮没技术等。

（撰写：罗文宗　审订：崔安智）

fangshe gongzuo renyuan jiankang guanli

放射工作人员健康管理 health administration for radiation workers 对从事超过放射性豁免限值的职业照射实践的人员的健康管理。包括健康的全部内涵，即生理、心理、道德及社会适应健康。放射工作人员健康管理是根据国家放射工作人员健康标准对放射工作人员进行健康监护，包括如下内容：(1)放射工作人员个人剂量管理；(2)放射工作人员健康检查，根据卫生部发布的预防性健康检查管理办法对放射工作人员进行上岗前和就业后定期健康检查；(3)放射工作人员健康档案管理，记录上岗前健康检查、就业后定期健康检查、异常照射等情况；(4)对接受计划照射和事故所致异常受照人员进行医学随访观察；(5)对过量受照人员进行医学随访观察；(6)根据国家职业病防治法对放射性疾病进行管理；(7)对放射工作人员进行辐射流行病学调查研究，观察群体远期效应；(8)对放射工作人员进行心理咨询服务；(9)对放射工作人员进行健康促进活动，提高职工健康意识，改变不良作业和生活方式，预防或减少疾病发生，提高职工的健康水平；(10)放射工作人员健康评价。 （撰写：张续宗 审订：孙世则）

fangshe gongzuo renyuan jiankang pingjia

放射工作人员健康评价 health assessment for radiation workers 不同剂量水平和不同照射方式的各种辐射照射对放射工作人员的健康影响，根据个人剂量监测或职业照射评价、健康检查或流行病学调查，按照“放射工作人员的健康标准”进行分析判断，提出放射工作的适应性意见。放射工作人员健康评价是放射工作人员健康管理的重要组成部分。辐射危害评价研究成果是放射工作人员健康评价的依据。随着辐射剂量学、放射生物学以及预防医学、职业医学等学科的发展，有可能建立起辐射剂量与生物效应的定量关系，依照生理、心理和社会的医学模式，国际认定的健康内涵和人群健康评价体系进行综合评价，将会不断提高对放射工作人员个体和群体健康评价的准确性和可靠性。

（撰写：吴 企 审订：武在炎）

fangshe huaxue

放射化学 radiochemistry 研究放射性物质的化学分支学科。它包括用化学方法处理辐照过的或自然界存在的放射性物质以得到放射性核素及其化合物，将化学技术应用于核研究以及将放射性物质用于研究化学问题。放射化学与原子核物理相互关联和交织在一起，成为核科学技术两个兄弟学科。1898年居里夫妇为了寻找铀、钍矿物的放射性来源开创了放射化学的研究工作，而放射化学这个词直到1910年才由A.卡麦隆首次提出。在1938年发现核裂变现象以前的几十年间，放射化学主要是学术研究。核裂变的发现及反应堆的建成使放射化学迅速进入应用领域。以核武器和核电厂为目的的新兴的核工业的建立，极大地推动了放射化学的发展，使放射化学的内容不断充实和丰富。近代放射化学的发展，逐渐形成以下几个分支学科：放射性元素化学，研究天然放射性元素和人工放射性元素的化学性质和核性质，它们的提取、制备及纯化的化学过程和工艺，重点是核燃料铀、钚、钍、超铀元素及裂片元素；核化学，研究核性质、核结构、核反应和核衰变的规律；放射分析化学，研究放射性物质的分离、分析以及核技术在分析化学中的应用；应用放射化学，研究放射性核素及其标记化合物和辐射源的制备以及在工业、农业、医学、科学研究等领域中的应用。 （撰写：郭景儒 审订：崔安智）

fangshe huaxue chundu

放射化学纯度 radiochemical purity 在含有基本上是以一种特定化学形态存在的某种放射性核素的样品中，以该种特定化学形态存在的该放射性核素的百分含量。例如$Na^{131}I$注射液，若标明放射化学纯度≥98%，则指该注射液中有≥98%的^{131}I以NaI形式存在，其余的活度可能不属于^{131}I，即使属于^{131}I也是以I_2，IO_3^-或IO_4^-等别的形式存在。对放射性标记的复杂有机化合物，放射化学纯度还包括特定的标记位置和旋光构型的特点。例如对放射性标记的L-蛋氨酸来说，同一组成的放射性标记的D-蛋氨酸就是杂质。

（撰写：江林根 修订：郭景儒 审订：崔安智）

fangshe huaxue fenxi

放射化学分析 radiochemical analysis 经过化学分离、纯化和放射性测量等手段实现的对放射性核素的分析，简称放化分析。放化分析的对象是放射性核素，其浓度一般都非常低，以超微量状态存在。这时它们往往有与常量元素不同的性质，如易生成放射性胶体以及极易被吸附等，以至难于进行定量分析。因而在放化分析中常加入载体，并用载体的化学产率校正化学分离的损失。乏燃料后处理中进行铀、镎、钚和裂变产物等的放化分析，配合裂变化学研究进行裂变产物产额测定，为保证核设施的安全运行和检查核爆炸对环境的危害进行的环境样品放化分析是放射化学分析的主要内容。

（撰写：崔安智 修订：郭景儒）

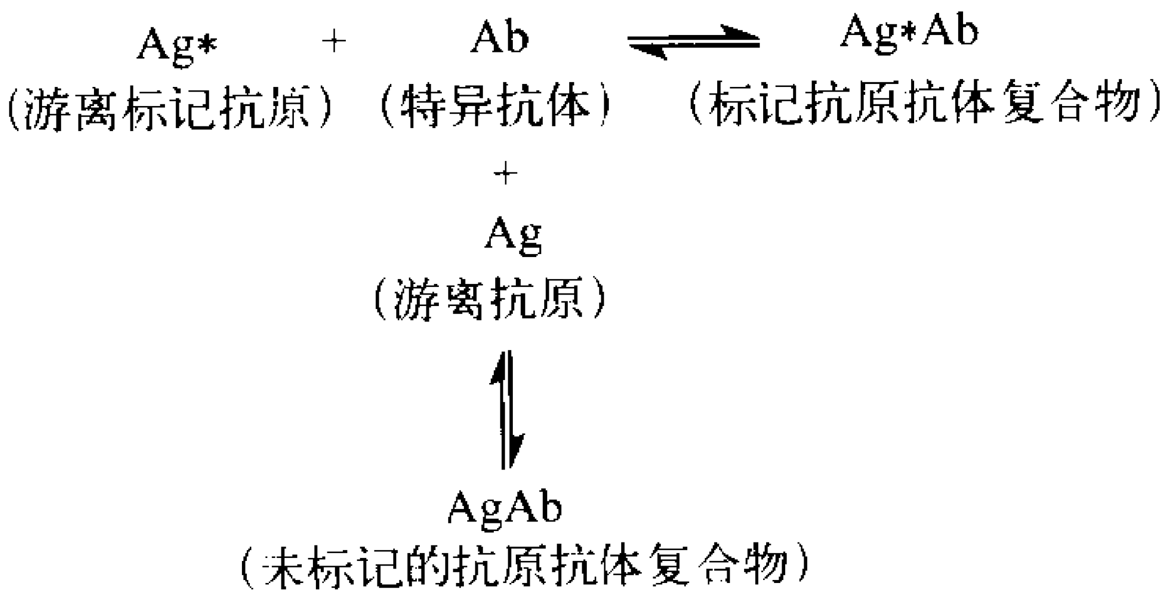
fangshe jieru zhiliao

放射介入治疗 radiointervention therapy 利用穿刺、植入或插管等手段，经血管、体腔、囊腔、组织间以及淋巴收集区，将放射性药物引入病灶进行集中照射，通过辐射生物效应抑制或破坏病变组织而达到有效治疗目的的一种方法。放射介入治疗提高了放射性核素治疗效果并拓宽了运用范围，克服或避免口服或静脉给药的不良反应，同时大大减少了放射性对正常组织的损伤作用。目前放射介入治疗主要用于呼吸和淋巴系统、组织间质、腔内和动脉内的介入放射性核素治疗以及药物介入和受体介导靶向放射性核素治疗。

（撰写：王荣福 审订：吕廷晓）

fangshe mianyi fenxi

放射免疫分析 radioimmunoassay (RIA) 利用放射性核素标记抗原与有限量的相应抗体的特异性竞争结合反应，以测定待测物质浓度的一种超微量分析方法。放射免疫分析法于1959年由Yalow及Berson创立，其原理是在反应系统中用放射性同位素标记抗原，待测抗原及一定限量的抗体，三者根据质量作用定律进行可逆的竞争性免疫反应为



当免疫反应达到平衡时，生成的标记抗原抗体复合物与

待测抗原含量之间呈一定的函数关系，并可由数学式表达它们之间的定量关系。在实际应用中，常用离心沉淀、活性炭吸附等手段把复合物与游离抗原分开，测定结合或游离抗原中的放射性。以结合率（或其他指标，如B/B_0(%)等）的logit值为纵坐标，以标准抗原浓度为横坐标制作标准曲线，从标准曲线中可求得待测抗原的浓度。放射免疫分析具有特异性强、灵敏度高（10^{-15} g/mL），精密度好，方法可靠，几乎可对所有生物活性物质进行分析等优点，因而在医学和生物学中应用广泛。近年来，由于单克隆抗体的引入和基因工程抗体的发展、生物素—亲和素系统的利用、方法学设计的改进、数据处理能力的提高、标记技术及放射测量技术的进步等，使放射免疫分析技术日趋完善。然而，现在放射性免疫分析的发展正面临着非放射性技术如酶免疫分析、化学发光免疫分析等方法的竞争。 （撰写：王荣福 审订：吕延晓）

F

fangshe mianyi fenxi shijihe

放射免疫分析试剂盒 radioimmunoassay kit 由多种试剂配套组装成的集合体（包括操作说明书），专门用于体外放射免疫分析的药盒（见图）。放射免疫分析试剂盒是为满足医学和生物学常规使用要求而开发的一种诊断产品，其组成部分如下：(1) 标准品：即标准抗原，是RIA定量的依据，其化学结构、免疫活性都应与被测抗原一致；(2) 特异性抗体：特异性抗体可通过免疫动物法和杂交瘤技术等方法制备，它要求抗体的亲和力适中，特异性强，滴度高；(3) 放射性核素标记抗原：目前多用^{125}I核素标记，要求标记抗原比活度高而适当，保持免疫活性，放化纯度应大于90%；(4) 缓冲溶液及分离试剂：要求与游离标记抗原的非特异性结合尽量小，不易受外界干扰，操作简便，重复性好，达到将标记抗原抗体复合物与游离标记抗原分离的目的。评价放射免疫分析试剂盒质量和方法学的指标有：精密度、准确度、可靠性、灵敏度、特异性等。



放射免疫分析试剂盒

（撰写：王荣福 审订：吕延晓）

fangshe mianyi zhiliao

放射免疫治疗 radioimmunotherapy (RIT) 利用放射性核素标记单克隆抗体与体内肿瘤相关抗原特异性结合在病灶部位进行导向治疗的一种方法。放射免疫治疗是利用肿瘤抗原的特异性的抗体作为导向载体，将放射性核素引向体内病变部位，通过射线对肿瘤细胞的抑制或杀伤作用，达到治疗目的。目前放射免疫治疗是核医学发展的一个较活跃的领域，已在黑色素瘤、肝肿瘤和淋巴瘤等肿瘤的治疗中取得了初步的结果。存在的主要问题是：(1) 抗体的来源；(2) 大部分抗体是动物源性，大量注射易引起人体的过敏反应，限制了每次标记抗体的注射剂量；(3) 非特异性结合较高导致本底增高，从而降低了放射性药物进入靶细胞的数量；(4) 瘤体摄取的放射性标记的抗体量很低，较难达到满意的疗效。随着基因工程的发展，放射免疫治疗有望成为一种有效而实用的治疗方法。

（撰写：王荣福 审订：吕延晓）

fangshe shouti fenxi

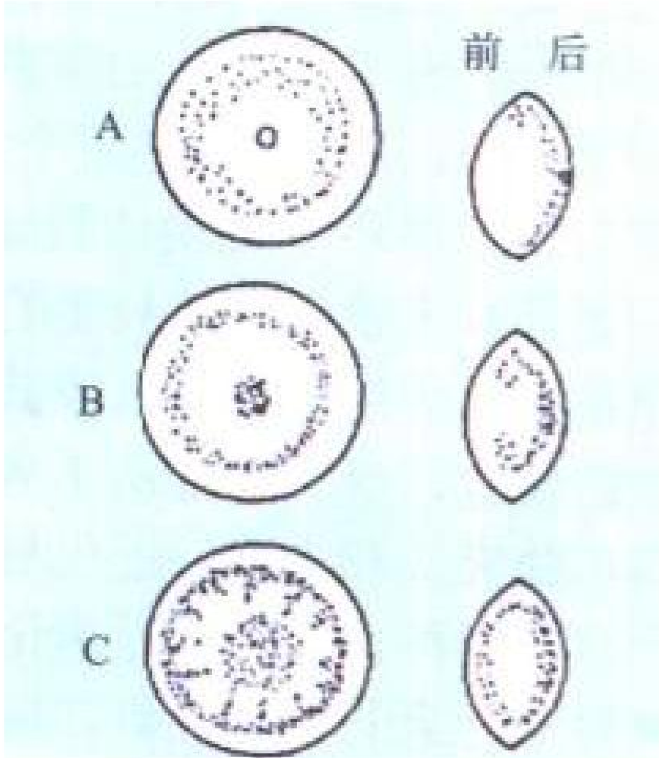
放射受体分析 radioreceptor assay (RRA) 将放射性核素标记待测物与有限量的组织受体结合反应测定待测物含量的分析方法。放射受体分析在原理上与竞争性蛋白结合分析（CPBA）基本相同，主要差别仅在于特异性结合试剂不是血浆球蛋白质，而是相应的特异性受体。能与受体特异性结合的配体（药物、激素和蛋白质等）在人体内部有相应的受体结合位点。受体制剂可以是完整的细胞（如器官切片、分离或培养细胞），也可以是无细胞系统，如组织匀浆、亚细胞组分（细胞膜或细胞核）或部分提纯的受体蛋白。受体与配体之间有很强的亲和力，它们之间的特异性结合反应是可逆的。因而放射受体分析主要应用于LH，FSH，HCG，GH，PRL，雌激素和孕酮等激素的测定；激素异常增多症等疾病的诊断、药物作用的估价；筛选和检测激素受体的激动剂或拮抗剂；受体亚型的检测。放射受体分析一般具有简便、特异性高、取材方便等优点。 （撰写：王荣福 审订：吕延晓）

fangshexing

放射性 radioactivity 某些核素自发放出粒子或γ射线，或在轨道电子俘获后放出X射线，或发生自发裂变的性质。1896年，即W.C.伦琴发现X射线的第二年，H.贝可勒尔发现铀盐具有发射类似X射线的穿透性辐射。接着又发现钍也放出这种射线。M.居里建议把物质的这种特征性质称为放射性。这个词来源于拉丁文radio（辐射或射线）和activus（能动性）。 （撰写：郭景儒 审订：崔安智）

fangshexing baineizhang

放射性白内障 radiation cataract 由电离辐射如中子、γ射线、X线引起的眼晶状体混浊。一般是指明确的一次或短时间（数日）内眼部受到大剂量外照射，或长期受到过量照射，累积剂量在2 Gy以上，晶状体从小点状混浊开始发展到全部混浊；视力逐渐受到影响、以至完全丧失视觉的临床过程（见图）。平时多属头面部放射治疗的合并症，其次见于核辐射事故受照者和长期过剂量职业照射人员。战时可发生于核辐射的受害者。放射性白内障的发生和程度与射线性质、受照剂量、年龄等相关。临床上将晶状体混浊演变过程分成4期。与其他原因引起的白内障相比，它具有一定的潜伏期（一般2～4年），早期发生晶状体混浊部位位于后极部后囊下皮质，呈点状、盘状或空泡形成。其病理改变无特异性，均为晶状体纤维退行性变。因此，对放射性白内障的诊断必须详细了解职业史、眼部受照剂量、发病的潜伏期，参照《放射性白内障诊断标准及处理原则》(GB 8283—87)，排除其他原因引起的白内障方可诊断。放射性白内障的治疗与一般的白内障治疗方法相同，必要时可进行手术摘除。



放射性眼晶状体混浊
A—晶状体内点状混浊小空泡；
B—晶状体后极部中央盘状混浊；
C—晶状体全部混浊放射性白内障

（撰写：周剑影 审订：孙世荃）

fangshexing bendi

放射性本底 radioactive background 自然界本来存在的放射性物质和高能辐射，以及由于人类实际活动如核爆炸和核能生产及核技术应用等将有放射性物质释放到环境中成为天然放射性本底和人工放射性本底。在辐射测量中，上述放射性本底引起的测量装置本底，通常也称为放射性本底，但是测量装置本底不但是由放射性本底产生的，而且还有由于探测器和电子仪器的漏电、噪声和电磁干扰等造成的本底。天然放射性本底的来源：(1) 从地球形成时起就存在于地壳中的放射性物质，其中最重要的是^{238}U，^{232}Th 及其子体如^{226}Ra，^{222}Rn和^{220}Rn以及^{40}K。(2) 从地球外空间射向地球的宇宙辐射。初级宇宙辐射主要成分是高能质子和高能 α 粒子，其最高能量可达到 10^{14} MeV。由于大气层、电离层和磁层的存在，初级宇宙辐射极少能直接射到地球表面，它在大气层中与氮、氧等原子核发生核反应、散裂和级联簇射等，最终将生成介子、电子、光子、中子和质子等次级宇宙辐射并射向地球表面。初级宇宙辐射粒子在生成次级宇宙辐射过程中，同时会产生^{3}H，^{7}Be，^{14}C，^{22}Na 和 ^{24}Na 等宇生放射性核素。人工放射性本底主要来源：(1) 核爆炸产生的裂变产物和剩余裂变物质形成全球性的放射性沉降物，这些沉降物沉降到地球上，成为人工放射性本底。(2) 核能生产中核燃料循环包括铀矿冶、铀同位素分离、核燃料元件制造、反应堆、后处理、研究与发展、放射性废物处理和处置等一系列环节，放射性同位素研制和生产以及放射性同位素和辐射在农业、工业和医学等领域的广泛应用，都将会有少量放射性物质释放到环境中而成为人工放射性本底。

（撰写：董柳灿　审订：潘自强）

fangshexing bileizhen

放射性避雷针 radioactive lightning rods 安装有放射源的避雷针。这种避雷针不同于常规避雷针，其特点在于，装置附近的大气离子不只是依靠避雷针尖端电晕感应放电产生，还可利用 α 放射源（通常采用 ^{241}Am 源）电离空气形成离子云，将雷电电荷导向大地。放射性避雷针所产生的电离电流要高出常规避雷针 2～3 个数量级，而且可在较低的电场强度下形成导电道路，因而工作性能更为稳定可靠，雷击保护范围扩大，目前多用于公用设施部门，如发电厂、高层宾馆、重要建筑物等。

（撰写：吕延晓　审订：蔡善钰）

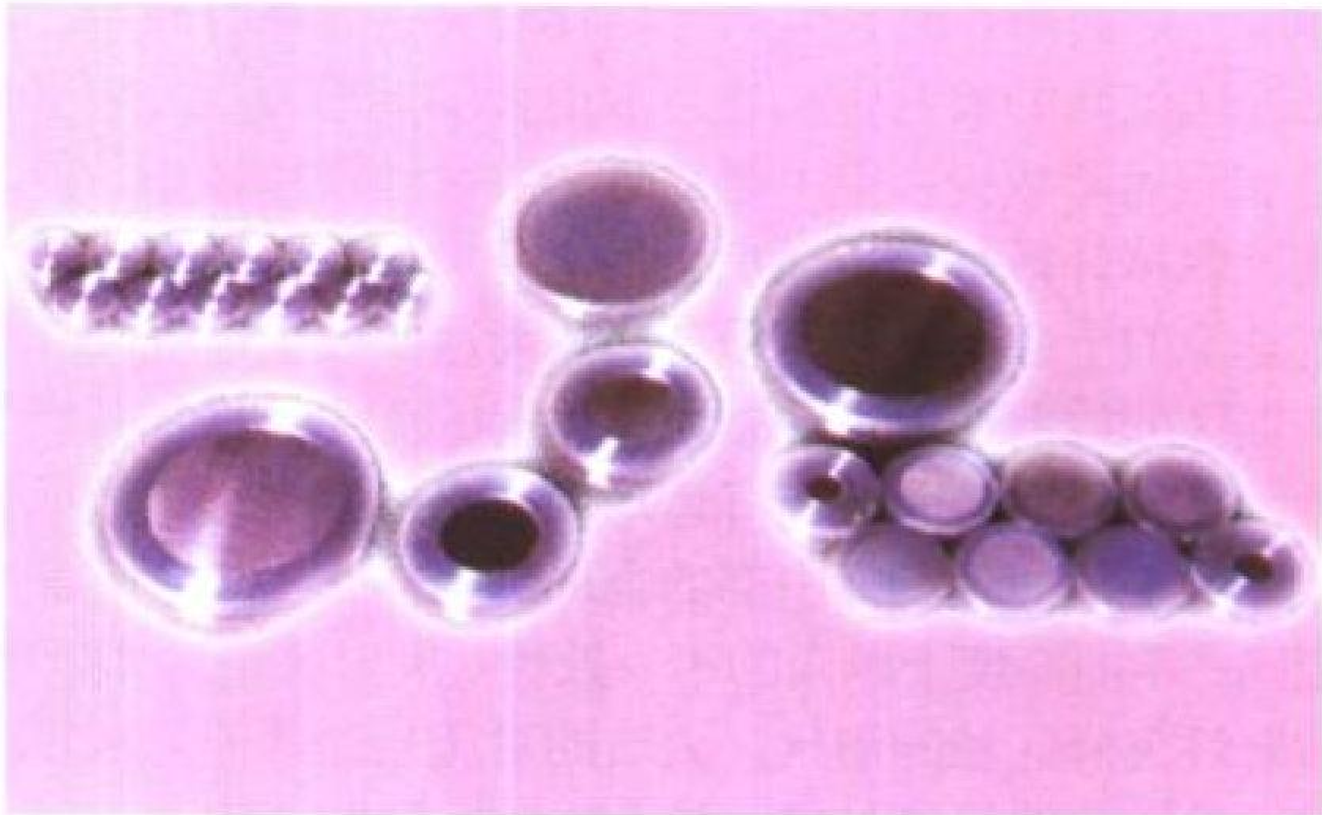
fangshexing biaoji huahewu

放射性标记化合物 radiolabelled compound 用放射性核素取代化合物分子中的一种或几种原子的化合物。放射性标记化合物因其具有放射性，易于识别，可利用放射性探测技术进行追踪。它与未标记的相应化合物具有相同的化学和生物学性质。用于制备放射性标记化合物的放射性核素主要有^{14}C，^{3}H，^{123}I，^{125}I，^{131}I，^{32}P，^{35}S，$^{99}Tc^{m}$ 等。常用的标记方法为化学合成法、同位素交换法和生物化学法。近年来，快速制备方法（包括自动合成装置）与快速分离技术的发展，有可能制备出一些短半衰期放射性标记化合物。放射性标记化合物用途甚广，如可用于医学上的基础研究，疾病的诊断与治疗。作为灵敏的示踪剂，还广泛应用于农业、工业、生物学、遗传工程、药物学、环境科学等领域。例如：^{32}P，^{35}S 标记的核苷酸在遗传工程研究中成功地用于脱氧核糖核酸（DNA）和核糖核酸（RNA）的分子序列测定、缺口标记和分子杂交。

（撰写：卢玉楷　审订：吕延晓）

fangshexing biaozhun wuzhi

放射性标准物质 radioactive reference material 一类以放射性为其特性量值的标准物质。依其物理状态和用途之不同，放射性标准物质可分为放射性标准溶液、放射性标准源（见图）、模拟标准源、环境放射性标准物质等。对放射性标准



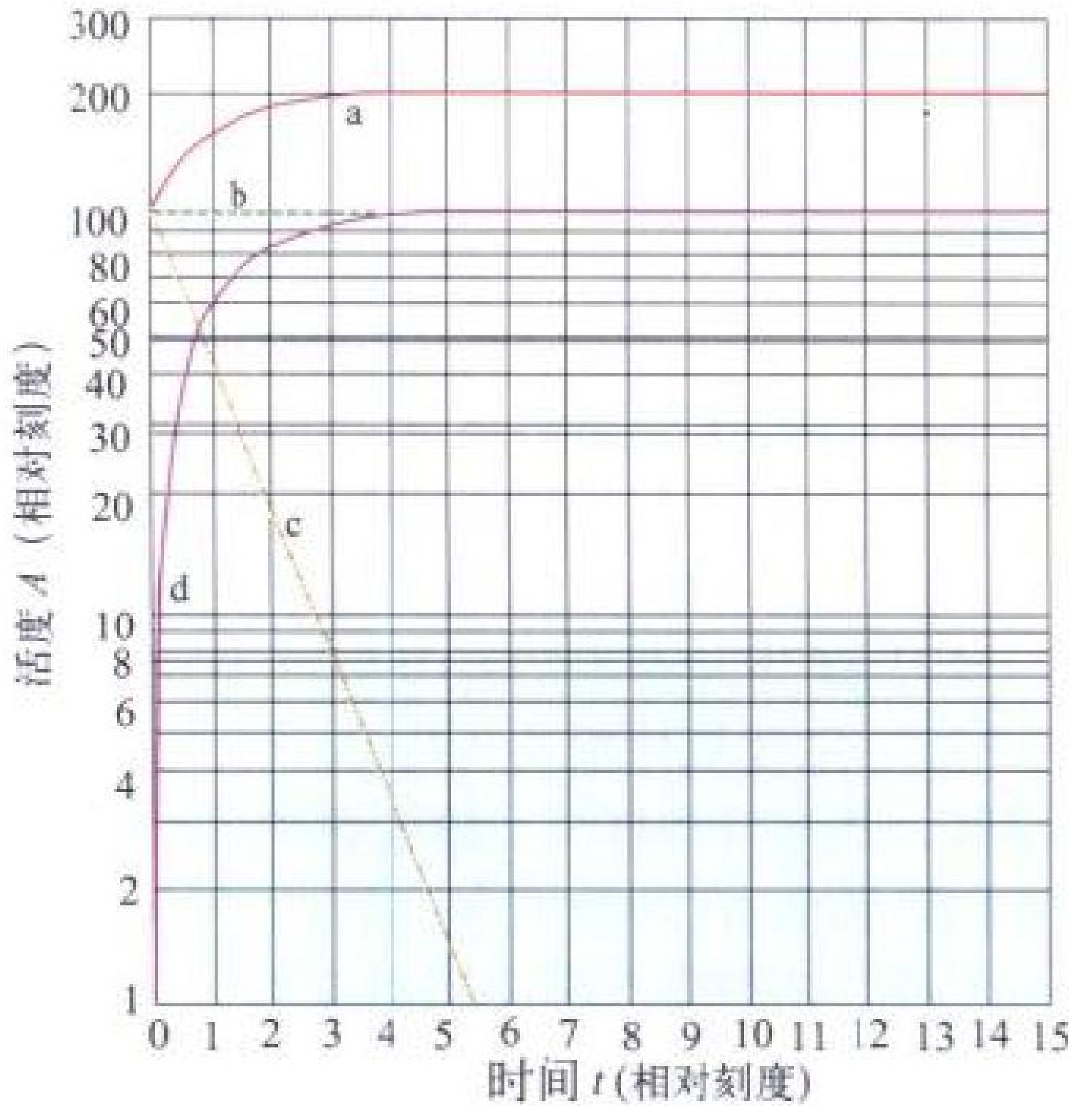
放射性标准源

物质的要求是：量值准确，均匀一致，稳定性好。鉴于放射性标准物质的活度或表面粒子发射率是准确已知的，故在计量工作中多用于校准测量器具、评价测量方法或确定材料的特性量值等。正确使用放射性标准物质有助于保证放射性计量的准确一致。

（撰写：卢玉楷　审订：吕延晓）

fangshexing changqi pingheng

放射性长期平衡 radioactive secular equilibrium 当母体和子体都是放射性核素，而母体核素的半衰期很长且比子体核素的半衰期长得多时，母子体之间所建立的放射性平衡称之为长期平衡。长期平衡时，子体核的放射性活度与母体核的放射性活度相等，并随母体核的半衰期衰变。长期平衡体系中母体的衰变和子体的生长和衰变的情况如图所示。图中曲线



长期平衡体系中母体的衰变和子体的生长和衰变的情况图

a 为母子体总放射性活度随时间的变化，后部为一水平直线。直线 b 表示母体的衰变。曲线 d 表示子体在生长和衰变时放射性活度随时间的变化，该曲线的后部也为水平直线。直线 c 表示纯子体的衰变。3 个天然放射系的放射性平衡都属于长期平衡。

（撰写：张丕禄　审订：郭景儒）

fangshexing chenjiang

放射性沉降 radioactive fallout 核爆炸烟云和尘柱中的放射性粒子或其他原因形成的空中放射性粒子，在本身重力和气象因素等的作用下降至地面的过程和现象。放射性沉降是

造成爆区、云迹区，甚至全球性放射性沾染的主要途径。一般将爆后24 h内沉降到的区域称为近区(早期)沉降，其后的称为远区(延迟)沉降，更微小的粒子会随高空环流降至世界各地，称为全球沉降。放射性沉降的时间和范围，取决于爆炸高度、爆点下方地表土壤性质以及爆后一定时段内的气象条件等。地面爆炸时，放射性颗粒较大，沉降时间短，造成参与近区沉降的放射性高达总放射性的80%左右，随爆炸高度增加而逐渐减少；空中爆炸时，放射性颗粒较小，能长时间随风飘移并散落在下风广大地区，参与近区沉降的放射性仅占总量的千分之几，几乎全部成为远区或全球沉降。其结果是爆区的放射性沾染轻微，但远区的沉降量增加，空气放射性污染较严重。大气下沉运动和降水现象会加重放射性沉降。地面至放射性烟云中部的合成风风向，决定了沉降区域的走向；不同高度上风向的不一致性（风向剪切），将严重影响放射性沉降区域的形状；大气的对流层顶，能滞后平流层的放射性微粒的沉降时间，扩大全球沉降的范围。

（撰写：朱焕金　审订：乔登江）

fangshexing chundu

放射性纯度 radioactive purity　在含有某种特定放射性核素的物质中，该核素及其短寿命子体的放射性活度与物质中总放射性活度的比值。例如从裂变产物混合物中提取 ^{137}Cs 核素，产品总活度为 3.7×10^7 Bq，其中发现沾污核素 ^{90}Sr，^{144}Ce，^{95}Zr 等的总活度为 2.3×10^6 Bq，则 ^{137}Cs 的放射性纯度为94%。不同用途的放射性核素制剂，对放射性纯度的要求也不相同。对引入人体的放射性药物，放射性纯度的要求较高，常要求大于99%，以减少放射性杂质给患者带来附加的照射。

（撰写：郭景儒　审订：崔安智）

fangshexing de shengzhang yu shuaibian

放射性的生长与衰变 growth and decay of radioactivity　见放射性平衡。

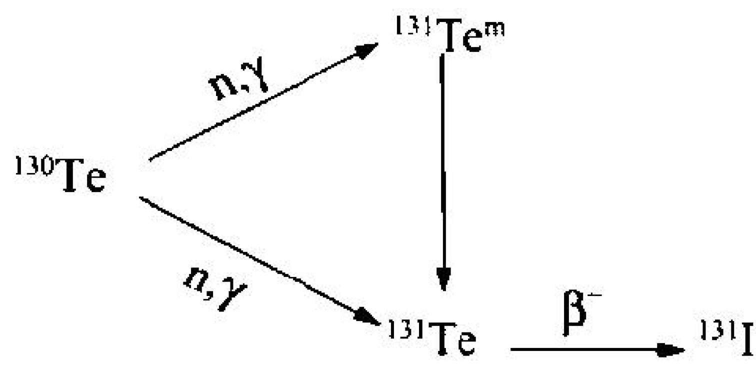
fangshexing dian

放射性碘 radioactive iodine　具有放射性的碘的同位素。碘的原子序数为53，拥有质量数由115到141的34个同位素。其中 ^{127}I 为稳定同位素，其余均为放射性同位素。碘的重要放射性核素有 ^{125}I（$T_{1/2}$= 60.2 d），^{131}I（$T_{1/2}$= 8.04 d），^{129}I（$T_{1/2}$= 1.6×10^7 a）等。碘为元素周期表中ⅦA族卤族元素。价电子结构为 $5s^25p^5$，主要氧化数为 −1，0，+1，+3，+5，+7。常温下碘是固体，具有升华性质。碘是典型非金属元素。在植物中，多含于海草内；在动物体中，多存在于甲状腺体内。放射性碘来自于铀、钚裂变产物或用加速器、反应堆辐照靶件所制备。在核电厂运行过程和乏燃料后处理过程中，放射性碘均是倍受关注的核素。放射性碘主要存在于气载废物中。^{125}I，^{131}I 半衰期较短，可通过贮存衰变有效消除其危害性。浸渍活性炭过滤器可有效过滤除去放射性碘（特别是无机碘，对有机碘的作用稍差）。^{129}I 的半衰期极长，是在进行高放废物、长寿命低中放废物地质处置过程中应予以重视的核素。由于 ^{123}I，^{125}I 和 ^{131}I 具有诊断和治疗甲状腺疾病、心肺功能检查、肾图照相、生物学研究等功能，人们常用加速器和反应堆生产放射性碘。直接法生产 ^{123}I 的核反应为



$$^{121}\text{Sb}\xrightarrow{\alpha,\,2n}{}^{123}\text{I} \text{ 或 } ^{122}\text{Te}\xrightarrow{d,\,n}{}^{123}\text{I}$$

用间接法生产 ^{123}I，是先生产出 ^{123}Xe，尔后衰变成 ^{123}I。用反应堆生产 ^{131}I 的核反应如图所示：



用反应堆生产 ^{131}I 的核反应

（撰写：罗上庚　审订：潘自强）

fangshexing fangdian chufaqi

放射性放电触发器 radioactive igniter for electric discharge　利用放射性同位素衰变时产生的电离辐射触发一类电子器件气体放电的装置。这种放电触发器一般充入 ^{85}K 或 ^{3}H 气体，也可使用 ^{63}Ni，^{147}Pm 等β放射源，为诸如辉光放电管、电子管、荧光灯起辉器、稳压装置等一类电子器件提供足够的初始离子，使放电过程启动迅速、具有良好的稳定性。此外，放射性放电触发器还可提高器件的使用寿命，改善工作性能。

（撰写：吕延晓　审订：蔡善钰）

fangshexing feiqi chuli xitong

放射性废气处理系统 radioactive gaseous waste processing system　收集处理放射性废气、使其放射性水平达到向环境排放的规定标准后再向环境排放的系统。压水堆核电厂的放射性废气可采用加压贮存、氢氧合成废气复用或吸附延滞等方法处理（见图）。加压贮存是将各类废气先送入缓冲罐暂存，经压缩、冷却和除湿后压入衰变箱内贮存60～100天，使其中的放射性气体得到充分衰变，然后向环境排放。氢氧合成废气复用是将各类废气由压缩机压入氢氧复合器，其中的氢气被复合成水，剩余废气（主要为氮气和微量放射性气体）经贮存衰变后再复用。这样可实现放射性工艺废气的零排放。吸附延滞是将废气在除湿后通过活性炭延滞床，使其中的裂变气体氪和氙在连续的吸附、解吸过程中得到足够的滞留时间，从而降低其放射性水平。吸附延滞处理是在接近常压和常温下操作，且无转动部件，故可靠性高。

（撰写：戚正文　审订：张维忠）

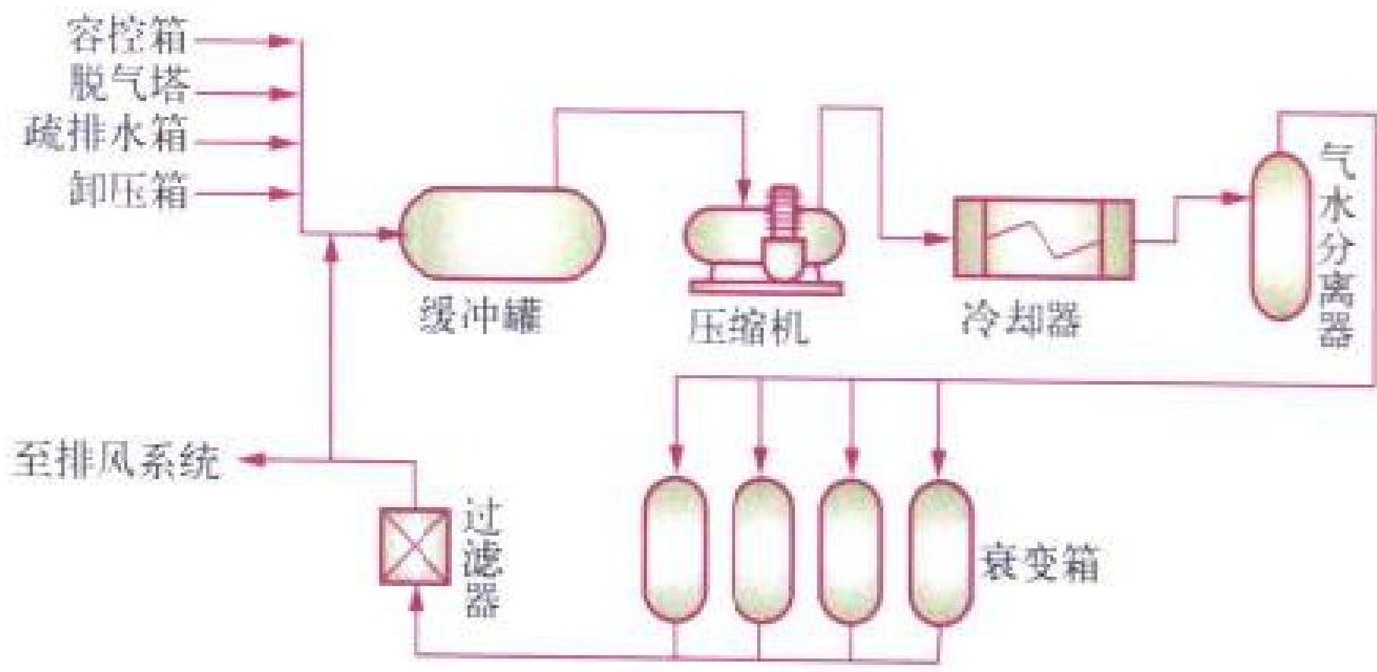


图1 加压贮存系统流程示意图

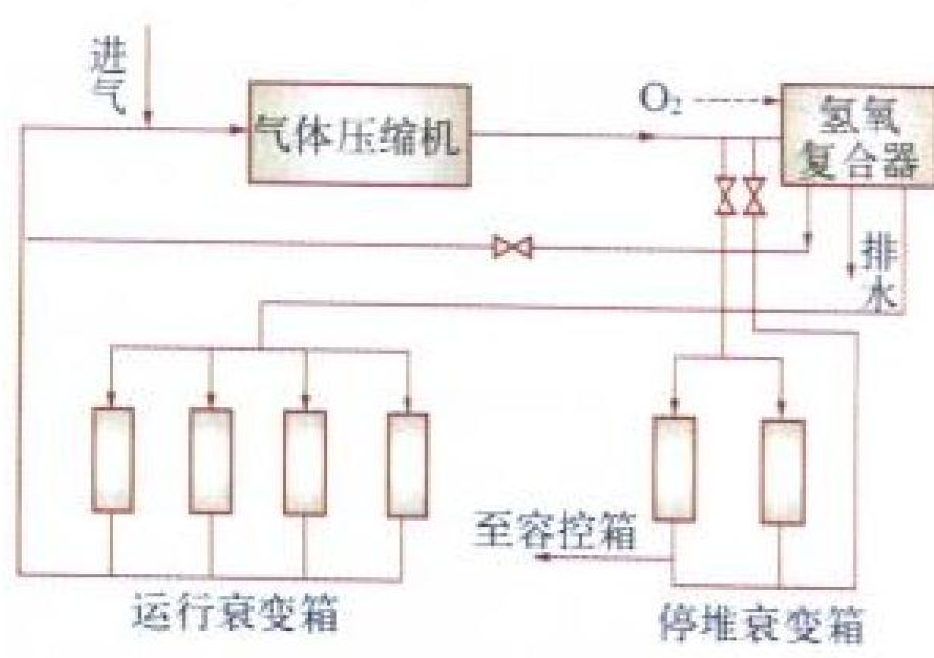


图2 氢氧复合系统（零排放）流程示意图

fangshexing feiqi jinghua

放射性废气净化 radioactive off-gas cleaning 放射性废气在受控条件下排入大气之前，去除或降低废气中的放射性成分的过程。在铀矿开采、选矿及水冶、铀同位素分离、核燃料元件制备、核反应堆运行、核燃料后处理、铀钚加工、放射化学操作以及其他核操作的过程中，均产生含有放射性微尘、放射性气溶胶和放射性气体的放射性废气。放射性废气净化的目的就是去除或降低放射性废气中的放射性污染物质，从而达到保护环境和保障工作人员安全的目的。

（撰写：刘春秀 审订：贾明）

fangshexing feiwu

放射性废物 radioactive waste 含有放射性核素或被放射性核素所污染，其浓度或比活度大于审管部门确定的清洁解控水平，预期不会再被利用的废弃物。这是从管理角度所作的定义。放射性浓度等于或低于清洁解控水平的物质，从物理观点看仍是放射性的，但其放射性危害可以忽略。操作、生产和使用放射性物质的活动，都可能产生放射性废物，这些活动如：(1) 核燃料循环过程，包括反应堆运行；(2) 放射性同位素的生产、使用及核技术的应用过程；(3) 核设施退役及污染场址整治过程；(4) 涉及放射性物质的实验工作和研究活动；(5) 核武器的研究、生产和试验活动，包括核潜艇的活动。此外，铀钍伴生矿物开采加工过程产生的废物，如果其放射性水平超过审管部门规定的限值，也应作放射性废物对待。放射性废物以各种形式存在，其物理和化学特性、放射性浓度或活度、半衰期和毒性差别很大。放射性废物与别的有害物质或一般废物不同，它的危害作用不能通过化学、物理或生物的方法消除，而只能通过其自身固有的衰变降低其放射性水平，最后达到无害化。对放射性废物业已有专门的措施进行安全的处理和处置。 （撰写：罗上庚 审订：潘自强）

fangshexing feiwu chuzhi

放射性废物处置 radioactive waste disposal 把废物放置在一个经批准的、专门的设施（例如近地表处置场或地质处置库）里，不再回取。处置也包括经批准的将净化过的流出物直接排入大气或水体，随后弥散在环境中。处置实际上是对放射性废物实施的一种不可回取的处理。通常采用多重屏障隔离体系，使放射性核素在衰变到安全水平之前不以有危害量进入人类生物圈，保护人类健康和环境。放射性废物不同，处置要求不同。国际原子能机构（IAEA）推荐：短寿命低中放废物（LILW-SL）采用近地表处置；长寿命低中放废物（LILW-LL）和高放废物（HLW）采用地质处置。放射性废物处置的安全性是通过选择适当的场址、良好的工程措施和完善的管理来达到的。许可证制度、质量保证体系、安全评价和环境影响评价制度是放射性废物安全处置的保证。

（撰写：罗上庚 审订：潘自强）

fangshexing feiwu chuzhiqian

放射性废物处置前 radioactive waste predisposal 废物从其产生到在处置库（场）接受处置、或被排放、或到被审管部门解除控制前所有的操作步骤或活动。它包括废物的预处理、处理、整备、贮存、运输和核设施退役活动，也包括对废物、对废物固化体或对废物货包的性能鉴定等。放射性废物管理的最终目标是安全、经济、科学和合理地处置好放射性废物，以实现同生物圈安全隔离，所以放射性废物处置前管理是整个放射性废物管理活动的前奏或基础。除了放射性危害作用外，废物中也可能存在物理、化学或生物的危害作用，放射性废物处置前管理均应予以考虑。 （撰写：罗上庚 审订：范显华）

fangshexing feiwu guanli

放射性废物管理 radioactive waste management 与放射性废物治理有关的技术管理和技术活动，包括制定方针政策，编制治理规划，制定法规标准，对废物进行预处理、处理、整备、运输、贮存和处置，申办许可证和授权，进行监测和监督，安全分析和环境影响评价，以及对公众进行宣传教育等。放射性废物是重要辐射源和环境污染源。因此，放射性废物管理是环境保护工作的重要组成部分。放射性废物管理的基本要求是通过采取安全而又经济的措施，处理和处置好放射性废物，使人类健康和环境不论现在和将来都不会受到危害，不增加后代的负担和责任。放射性废物管理最终目标是安全、经济、科学和合理地处置放射性废物，实现同生物圈安全隔离和无害化。放射性废物是社会敏感事物，放射性废物的处理和处置需要耗费资源。放射性废物安全、经济的管理是影响核工业和核电可持续发展的重要因素之一。放射性废物管理当今世界已有一套行之有效的方法。关键是核设施从选址、设计、建造、运行，直至退役的各个环节，都要十分重视放射性废物的管理，保证资源配置，加强质量保证和质量控制，提高全体员工的安全文化素养。 （撰写：罗上庚 审订：潘自强）

fangshexing feiwu guanli yuanze

放射性废物管理原则 radioactive waste management principle 因为放射性废物的不恰当的管理会对人类健康和环境在现在和将来产生不利的影响，放射性废物管理必须遵照审管部门的相关要求，履行旨在保护人类健康和环境的各项措施。国际原子能机构在征集成员国意见的基础上，经理事会批准，在1995年发布的一份文件中规定了以下九条放射性废物管理基本原则：(1) 保护人类健康，放射性废物管理必须能够确保对人类健康的影响达到可接受的水平；(2) 保护环境，放射性废物管理必须确保对环境的影响达到可接受的水平；(3) 超越国界的保护，放射性废物管理应该考虑超越国界的人类健康和环境的可能影响；(4) 保护后代，放射性废物管理必须保证对后代预期的影响不会大于当今可接受的水平；(5) 对后代的负担，放射性废物管理必须保证不给后代造成不适当的负担；(6) 国家法律框架，放射性废物管理必须在适当的国家法律框架内进行，包括划分责任和规定独立地审查和监督；(7) 控制放射性废物的产生，放射性废物的产生必须尽可能最少化；(8) 放射性废物产生和管理间的相依性，必须适当考虑放射性废物产生和管理各阶段之间存在的相互依赖关系；(9) 设施安全，必须保证放射性废物管理设施使用寿期内的安全。

（撰写：罗上庚 审订：潘自强）

fangshexing feiye chuli

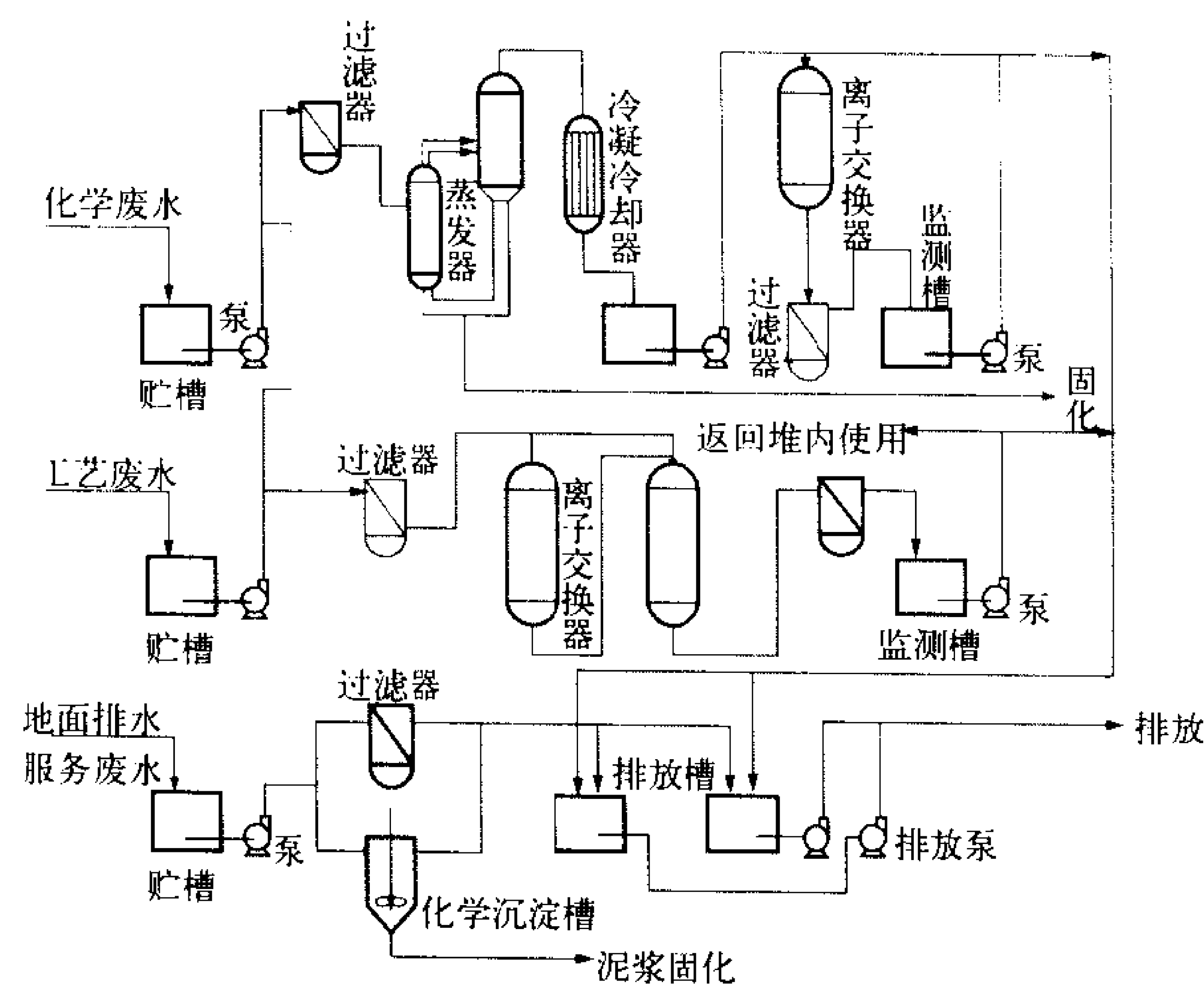
放射性废液处理 processing of radioactive liquid waste 将放射性废液浓缩和减容，使大量的净化液达到可以复用或排放的标准、少量的浓缩液可进行整备处理的过程。通常，首先进行预处理，然后进行处理，最后固化其浓缩液。废液预处理的目的在于：减少需要进一步处理或处置的废液量；调节废液特性使适合于后续处理的要求；降低或消除废液的物理、化学、生物学或放射学特性所引起的某些潜在危害或影响。预处理包括废液的收集、分流、化学调制和去污操作。

废液处理的目的包括：(1)浓缩和减容，例如废水的蒸发浓缩和有机废液的焚烧处理等；(2)除去放射性核素；(3)改变废液的组成和特性等。废液处理产生的浓缩液需要转变成固化体并密封包装，以便最终处置。对于低、中放废液，通常含有较多盐分和少量放射性核素，常采用过滤、絮凝沉淀、离心分离、超滤、蒸发、电渗析、反渗透和离子交换等方法或其组合流程进行处理。对于有机废液，最有吸引力的方法是焚烧处理，焚烧尾气要净化达到排放标准后才能排入大气，灰渣要进行固化处理。对于高放废液，常用蒸发法浓缩处理，蒸发冷凝液可根据情况作为低、中放废液处理，浓缩液采用玻璃固化等方法处理。　　（撰写：骆大星　审订：孙明生）

F

fangshexing feiye chuli xitong

放射性废液处理系统　radioactive liquid waste processing system　用于收集、贮存、净化和处理核电厂在正常运行和停堆期间所产生的放射性废液，使其放射性水平下降到低于国家规定的排放值后再向环境稀释排放的系统。核电厂产生的废液按其放射性水平和化学成分可分为工艺废水、化学废水、地面排水和服务废水。不同类的放射性废水采用不同的处理方法，常用的处理方法有：贮存、过滤、化学沉淀、蒸发和离子交换等（见图）。废水经处理后如达到反应堆冷却剂



放射性废液处理系统

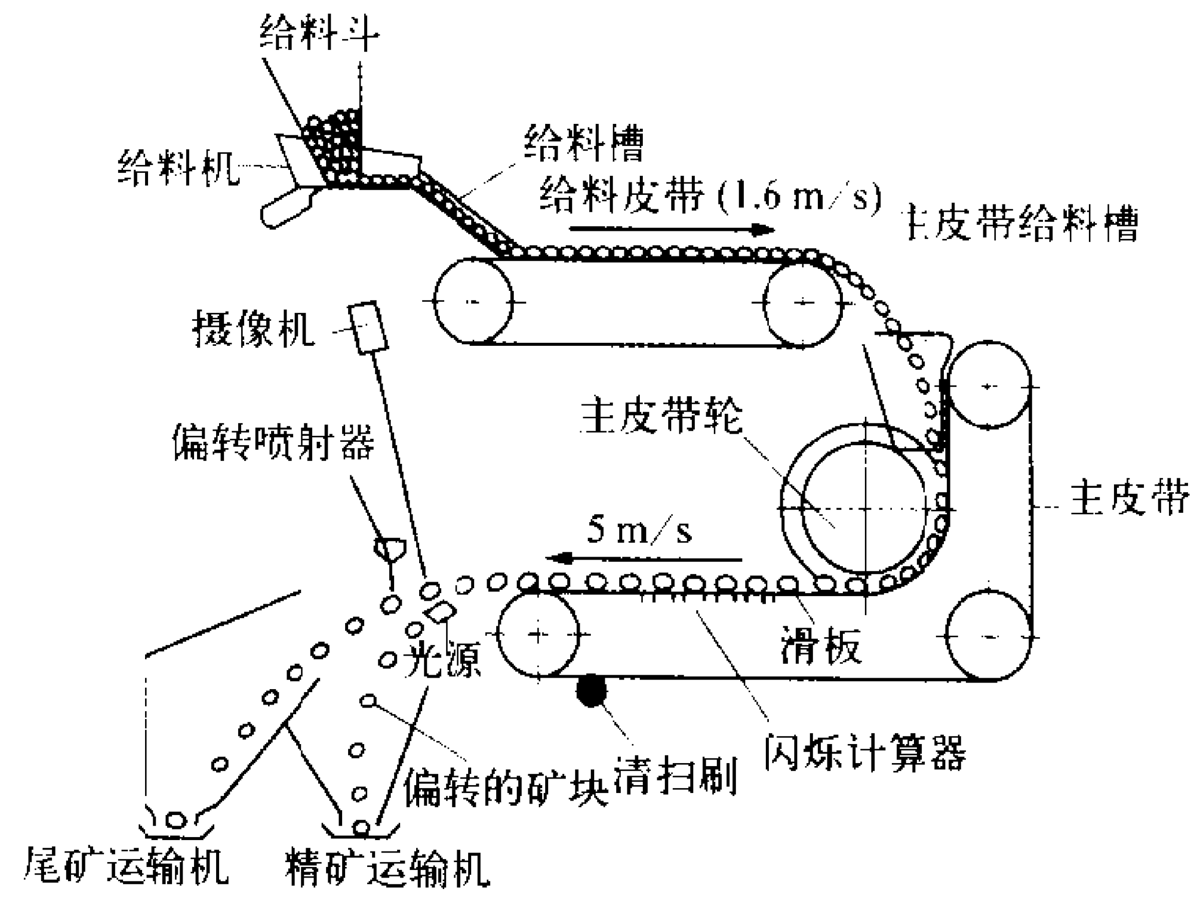
的补给水水质要求，可返回系统复用，蒸残液则进行固化处理；达到复用水水质要求的，则作为复用水使用；达到排放水水质要求的，则可向环境排放。（撰写：戚正文　审订：张维忠）

fangshexing fenxuanchang

放射性分选厂　radiometric sorting mill　铀矿石开采和水冶之间的一个加工厂。目的是为水冶厂提供比采出矿石铀品位更高的加工原料。放射性分选厂主要由矿石分级、矿石准备、放射性分选和脱水等四个工序组成。矿石的分级是在放射性检查站进行的，在此将铀矿石按品位分成废石、富矿和合格矿石（作为放射性分选厂的原矿）三种产品。矿石准备工序包括破碎、筛分和洗矿作业。原矿破碎后筛分成粗、细两个粒级。粗粒级经洗矿后再筛分成几个粒级供给分选作业。放射性分选工序是放射性分选厂的主要工艺过程。它将各粒级分选成精矿（送水冶厂加工提铀）和尾矿（送尾矿场堆弃）。脱水工序是将洗矿过程中产生的矿泥浓液过滤，滤饼送水冶厂，滤液返回洗矿作业循环利用。　　（撰写：张登福　审订：夏润身）

fangshexing fenxuanji

放射性分选机　radiometric sorter　利用矿石产生的放射性进行分选的设备。对铀矿石而言，则是利用铀矿石产生的γ射线的活度差异将铀矿石分成不同品位产品的专用设备（见图）。一般由给矿系统、探测系统、判断系统、分离系统和屏蔽等五个部分组成。给矿系统保证连续、均匀、平衡地使矿块或矿流通过探测系统。探测系统则测量通过探测区矿石的γ放射性活度。判断系统是按测得的γ射线活度强弱确定铀矿块为精矿或尾矿，并发出指令信息给分离系统。分离系统按判断系统的指令将铀矿石分成精矿和尾矿。屏蔽的作用是阻挡外来射线的干扰，降低放射性测量的本底。目前，先进的放射性分选机均采用电子计算机、高速皮带、多槽道、多探头接力式探测等最新技术。具有入选矿石分级少、分选粒级下限低、灵敏度高、选矿效率高、处理量大、近似按品位选和选矿成本低等特点。



放射性分选机示意图

（撰写：张登福　审订：夏润身）

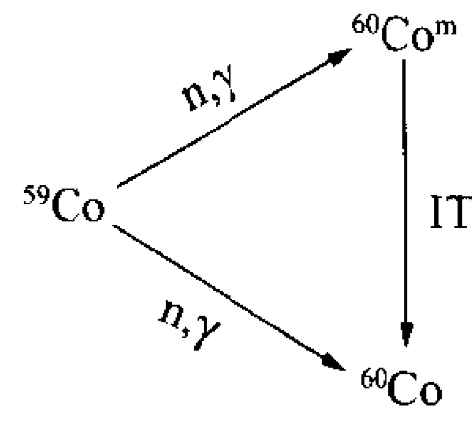
fangshexing gu

放射性钴　radioactive cobalt　具有放射性的钴的同位素。钴的原子序数为27，拥有质量数53到64的17个同位素。其中^{59}Co为稳定同位素，其余均为放射性核素。钴的重要放射性核素有：^{60}Co（$T_{1/2}$= 5.27 a），^{58}Co（$T_{1/2}$= 70.8 d），^{56}Co（$T_{1/2}$= 78.8 d）等。钴是元素周期表中第Ⅷ族过渡金属元素。价电子结构为$3d^7 4s^2$，主要氧化态为+2，+3，+4，稳定氧化态是+2，是中等活泼金属。钴主要用于制造合金（如不锈钢）。放射性钴主要为活化产物、裂变产物或由人工制备。在核电厂运行过程中，一回路设备和腐蚀产物受中子活化产生^{58}Co，^{60}Co，进入一回路冷却剂中，成为核电厂运行废物中重要核素。放射性钴的去除可用离子交换、吸附、沉淀、电渗析等方法。^{60}Co为很强的γ辐射体，常用于辐照源、探伤、医疗、工业量度计、燃料电池、高炉控制、仪表刻度和校正等。^{57}Co和^{58}Co常用于医学和生物学研究。^{56}Co，^{57}Co和^{58}Co都可用加速器生产，制备^{57}Co的核反应为



$$^{57}Fe(d, 2n)^{57}Co, \quad ^{56}Fe(d, n)^{57}Co$$

反应堆中子活化生产^{60}Co的核反应为



（撰写：罗上庚　审订：潘自强）

fangshexing guti feiwu chuli

放射性固体废物处理 treatment of radioactive solid waste 对以固态形式存在的放射性废物的处理。放射性固体废物种类繁多，按污染类型可分为两大类：(1)受放射性沾污的设备和杂物，例如部件、管道、过滤器芯、设备、工具、劳保用品和湿废物固化体等；(2)被活化产生的活化废物，如堆芯构件、混凝土屏蔽体等。放射性固体废物根据其所含核素的种类、半衰期的长短和比活度的大小分为低、中、高水平放射性固体废物；根据其物理特性，又可分为可燃废物和不可燃废物，可压实废物和不可压实废物。不同类型的固体废物，其处理方法也不同。通过分拣、去污等手段，分出免管废物和极低放废物，以最大限度地减少放射性废物体积。对可燃废物可采用焚烧技术处理，该法具有很大的减容比，可大大减少处置费用。压实减容技术虽然减容系数比焚烧技术小，但该技术相对简单、易操作、安全性好，因而目前广泛应用压实技术处理可压实废物（包括可燃废物）。

（撰写：范显华　审订：骆大星）

fangshexing guti feiwu chuli xitong

放射性固体废物处理系统 radioactive solid waste processing system 处理和贮存放射性固体废物的系统。固体废物有以下的处理方法：(1)湿固体废物，如：废树脂、蒸残液、过滤器反洗淤渣及贮箱淤渣等，须经脱水、减容或固化处理，并暂存一段时间后，再送往最终处置的废物库。(2)干固体废物分为可压缩和不可压缩的。可压缩废物有纸、布和衣服等。不可压缩废物有被沾污的工具、报废的放射性设备部件、维修用的废弃物和过滤器芯等。对可压缩的放射性干废物应进行压缩和包装。对可燃性固体废物也可进行焚烧处理。厂区内有运输和贮存设施，它们包括各种运输车辆、运输屏蔽容器及能贮存至少6个月以上的固体废物库。

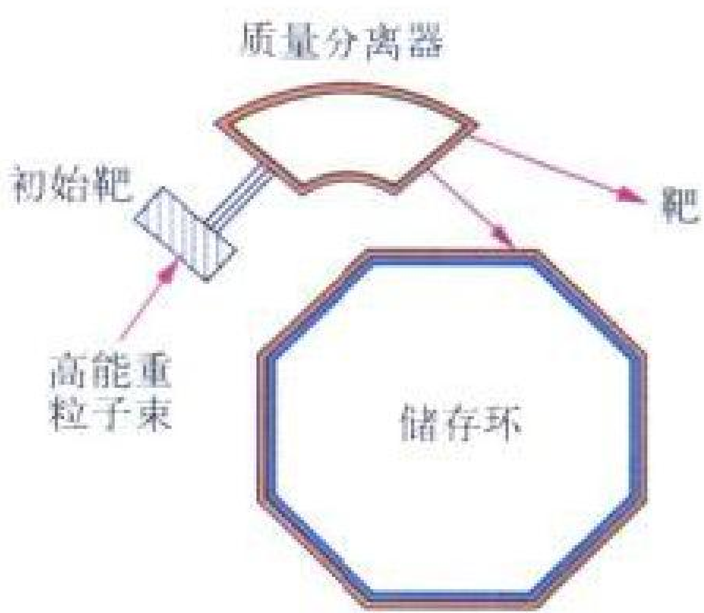
（撰写：戚正文　审订：张维忠）

fangshexing hanliangji

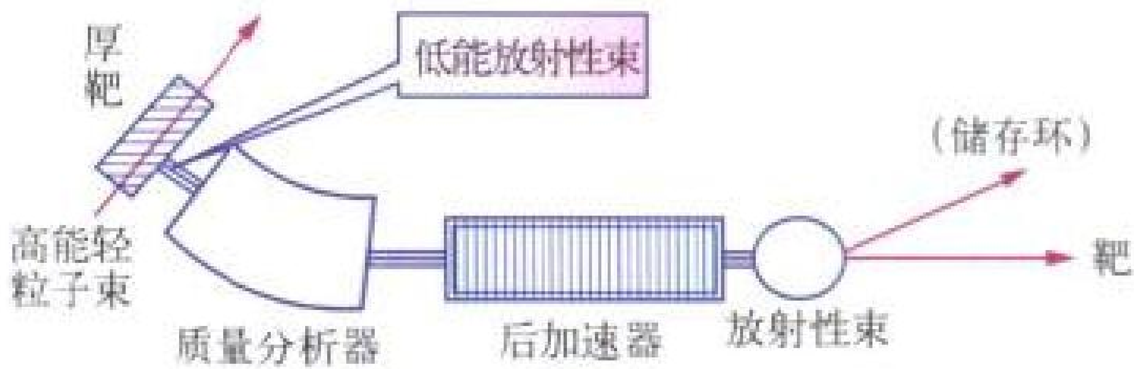
放射性含量计 radioactive content meter 带有放射源，用于分析物体中元素成分或物质含量的测量装置。根据工作原理，含量计有多种类型。例如煤炭灰分计就是利用物质对低能γ辐射和中能γ辐射的吸收系数的差异制成的；水分仪（或湿度计）则是利用快中子被水分子中氢核慢化后根据中子计数确定材料中水含量；又如钙铁计、硫量计是利用放射源激发元素的特征X射线，根据特征X射线能量确定所含元素，再根据特征X射线强度测定元素的含量；有些含量计是利用中子活化分析原理（例如 ^{252}Cf 中子源发射的中子与元素原子核发生核反应），根据核反应产生的瞬发γ射线的能量确定所含元素，并通过瞬发γ射线的强度确定元素的含量。目前，含量计已在探矿、选矿、冶金、煤炭、化工和建材行业得到广泛的应用。（撰写：刘以思　审订：吕延晓）

fangshexing heshu liziyuan

放射性核束离子源 radioactive nuclear beam ion source 产生放射性核束的设备。一般采取两种不同的方法，即弹核碎裂法（PF法）和在线同位素分离法（ISOL法）。PF法是利用中能或高能重离子束（50 MeV/u～1 GeV/u）打薄的核靶，炮弹核发生碎裂，产生所需要的放射性核，并以与炮弹核相近的速度向前方飞出。利用分离和输运系统，经过收集分离和纯化并形成束流。ISOL法是应用几十兆电子伏到1 GeV能量的强流（几百微安到几毫安）的轻粒子束打厚靶，通过各种核反应产生放射性核素。适宜于在线同位素分离器的离子源有表面电离源，ECR源和气体放电型离子源等。如图所示为两种放射性核束离子源的原理图。



弹核碎裂法示意图



在线同位素分离法示意图

（撰写：关遐令　审订：王传英）

fangshexing hesu

放射性核素 radioactive nuclide 能自发地放出α、β等射线的核素。通常也叫不稳定核素。它的原子核能自发地放出各种射线的特性称为放射性。核素的放射性首先是法国物理学家贝可勒尔于1896年在研究各种物质的荧光时发现的，它是由原子核的内部变化引起的，与原子核衰变密切相关，而与核外电子状态的改变关系很小。放射性核素分为天然和人工两种。已知的放射性核素大约2000种，其中绝大部分是人工放射性核素。放射性核素在人类物质生活的各个领域有着广泛的应用。

（撰写：华　辉　审订：卢希庭）

fangshexing hesu fashengqi

放射性核素发生器 radionuclide generator 可以从较长半衰期核素（母体）分离出由它衰变而产生的较短半衰期核素（子体）的一种装置。因其在有效期内，每隔一段时间就可以从该装置中分离一次子体核素，犹如母牛挤奶，故放射性核素发生器又有“母牛”之称。理论上，任何具有母、子体关系的一对放射性核素可构成一个发生器体系，但只有子体核素的核性质（辐射类型、能量、半衰期等）和化学性质合适者才具有实用价值。放射性核素发生器按母、子体核素分离方法的不同，可分为色层发生器、溶剂萃取发生器和升华发生器等，其中应用最广泛的是色层发生器。色层发生器由吸附柱、淋洗系统和用于辐射屏蔽的防护套等基本部件组成。柱内由母体核素衰变生成的子体核素在用适当淋洗剂淋洗时便被洗脱下来。放射性核素发生器是制备某些短半衰期核素的理想装置，广泛应用于医学、工业、科学研究等领域，尤其是在医学上用得最多。目前最重要、应用最普遍的是 ^{99}Mo–^{99}Tc^{m} 发生器（见图）。



^{99}Mo–^{99}Tc^{m} 发生器

（撰写：卢玉楷　审订：吕延晓）

fangshexing hesu huodu celiang

放射性核素活度测量 radionuclide activity measurement 测定某一放射性核素在某一特定能态下，在单位时间内发生自发核转变的数目。它的单位为 s^{-1}，专门名称为贝可勒尔(Bq)，早期放射性活度的单位名称为居里(Ci，$1\ Ci = 3.7 \times 10^{10}\ Bq$)。目前已知的放射性核素约 2000 种，而在实际应用中比较重要的核素，约有 250 种。这些放射性核素都有自己独特的衰变方式，因此放射性核素活度测量方法也是多种多样。没有一种方法能适用于所有放射性核素活度的测量。每种方法往往只适用于一定的衰变方式和某一活度范围。目前，放射性活度测量主要以气体计数管、闪烁探测器、电离室和半导体探测器这四类探测器为基础。在测量方法上有小立体角法、液体闪烁法、内充气法、符合测量法以及量热法。量热法是通过测量放射性核素衰变时释放的能量使物质温度变化来确定其衰变率，而其他方法则主要是通过记录，分析放射性核素衰变时放出的射线在探测器中产生的电信号来确定其放射性活度。 （撰写：容超凡　审订：丁声耀）

fangshexing hesu jibenzhi A_1 he A_2

放射性核素基本值 A_1 和 A_2 basic radionuclide values A_1 and A_2 A_1 系指 A 型货包中容许装入的特殊形式放射性物质的最大活度。A_2 系指 A 型货包中容许装入的、除特殊形式放射性物质以外的放射性物质的最大活度(参见货包)。它们的单位以太[拉]贝可[勒尔](TBq)表示。A_1 与 A_2 是单个放射性核素的基本值。对于含有两种以上放射性核素的混合物，该值可由下式确定

$$X_m = \frac{1}{\sum_i \frac{f_{(i)}}{x_{(i)}}}$$

式中 $f_{(i)}$ 为混合物中第 i 种放射性核素活度的分数；$x_{(i)}$ 为相应放射性核素的基本值 A_1 与 A_2；X_m 为在混合物情况下所得出的 A_1 与 A_2 值。对于得不到单个放射性核素或放射性核素混合物的有关资料时，可以采用表中所示的值。

未知放射性核素或混合物的放射性核素基本值

放射性内容物	A_1/TBq	A_2/TBq
仅存在β或γ发射的核素	0.1	0.02
仅存在α发射的核素	0.2	9×10^{-5}
没有有关资料的情况	0.001	9×10^{-5}

（撰写：董柳灿　审订：赵亚民）

fangshexing hesu neiwuran cupai

放射性核素内污染促排 acceleration elimination of internal contamination of radionuclides 采取综合措施促使通过不同途径吸收入体内的放射性核素排出体外，称为放射性核素内污染促排。内污染促排减少放射性核素内污染量，是防治放射性核素内照射损伤效应的根本措施。从辐射防护出发，对估计内污染量大于年摄入量限值的人员，应立即采取促排治疗。当放射性核素吸收入血液或软组织的早期，多呈离子态或不牢固结合状态，如及早施行促排治疗，可收到良好效果，拖延时间越久，放射性核素呈牢固结合于组织器官的量越多，则促排效果越差。所以目前有效的促排药物多是早期应用效果佳，晚期应用效果差。促排体内放射性核素可使用络合剂，多是有机化合物，能与体内污染的多种放射性核素配位结合成溶解度大、解离度小、扩散能力强的络合物，易于经肾随尿排出，或经肝胆系统随粪便排出。经实验治疗或临床应用证实，有显著促排效果的络合剂，主要是氨基羧基型络合剂：如二乙烯三胺五乙酸钙钠盐(DTPA–$CaNa_2$)，又称促排灵，以及具有酚性羟基的多胺多羧络合剂喹胺酸(quinamic acid)。它们对钍及超铀核素(^{232}Th，^{234}Th，^{239}Pu，^{241}Am，^{242}Cm，^{252}Cf 等)和稀土核素(^{90}Y，^{140}La，^{144}Ce，^{147}Pm 等)有显著促排效果；巯基型络合剂：如二巯基丙烷磺酸钠(unithiol)和二巯基丁二酸钠(DMS–Na)，对 ^{210}Po，^{76}As，^{203}Hg 等有良好的促排效果；氨烷基次磷酸型络合剂如二乙三胺五甲基次磷酸(DTPP)的钙钠盐，对 ^{235}U，^{203}Pb 和稀土等核素促排效果好，对 ^{235}U 的促排效果尤佳。筛选高效无毒的促排药物仍然是放射医学的重要课题。 （撰写：朱寿彭　审订：孙世荃）

fangshexing hesu niandai ceding

放射性核素年代测定 radionuclide dating；isotope chronology 根据放射性核素(^{14}C，^{40}K 等)或其衰变产物在物品或材料（岩石、矿物、陨石以及化石和文物样品）中的含量来确定该物品或材料年龄的一种纪年方法。放射性核素年代测定可定量获取地质学和考古学事件发生的时间信息，是一种现代“绝对纪年”方法。这种方法不受外界条件（例如温度压力变化）的影响，因而优于早先以地层序列研究为基础的相对纪年方法。放射性核素年代测定可根据核素衰变特性的差异而分为 ^{14}C 法、K–Ar 法、Rb–Sr 法、U–Pb 法等（见表）。一般在测定地质年龄时多采用放射性衰变平衡纪年法。而对于遗址考古的年代，则采用 ^{14}C 纪年法更为方便。

放射性核素年代测定

放射性核素	半衰期/a	方法名称	适用时间范围/a	主要测定对象
^{10}Be	1.51×10^6	^{10}Be 法	$\leqslant 10^7$	海洋、湖泊堆积年代
^{14}C	5.73×10^3	^{14}C 法	$\leqslant 5 \times 10^4$	一般考古标本与地质样品
^{40}K	1.28×10^9	K–Ar 法	$\geqslant 10^5$	岩石、矿物最后冷却年代
^{87}Rb	4.88×10^{10}	Rb–Sr 法	$\geqslant 10^7$	岩石、矿物最后冷却年代
^{210}Pb	2.23×10	^{210}Pb 法	$\leqslant 10^2$	湖泊堆积时代
^{230}Th	7.54×10^4	Io 法	$\leqslant 2 \times 10^5$	海洋、湖泊堆积年代
^{232}Th	1.40×10^{10}			
^{235}U	7.04×10^8	U, Th–Pb 法	$\geqslant 10^8$	岩石、矿物最后冷却年代
^{238}U	4.47×10^8	裂变径迹法	视 U 含量而定	陶土制品、岩石样品

（撰写：吕延晓　审订：卢玉楷）

fangshexing hesu zhiliao

放射性核素治疗 radionuclide therapy 利用放射性核素在衰变过程中发射出来的射线（主要是 β^- 射线）的辐射生物效应来抑制或破坏病变组织的一种治疗方法。治疗原理是通过放射性核素或其标记化合物高度选择性聚集在病变部位进行照射，受到大剂量照射的细胞因繁殖能力丧失、代谢紊乱、细胞衰老或死亡，从而抑制或破坏病变组织，达到治疗目的。常用的方法有：(1) 特异性内照射治疗，如 ^{131}I 治疗甲状腺功能亢进症及甲状腺转移癌；(2) 腔内治疗，如 ^{198}Au– 胶体胸腔内治疗；(3) 敷贴治疗，如用 ^{90}Sr 敷贴器治疗局限性神经性皮炎；(4) 组织间插植治疗；(5) 其他治疗，如用 ^{32}P 标记树脂颗粒直接灌注到肿瘤组织供血的动脉，或将放射性核素胶体直接注射于肿瘤组织。放射性核素治疗具有方法简便、疗效可靠，实用价值高等优点。近年来采用 ^{153}Sm–EDTMP，^{188}Re–HEDP，$^{89}SrCl_2$ 等放射性药物治疗恶性肿瘤骨转移骨痛已取得满意的疗效。

（撰写：王荣福　审订：吕延晓）

fangshexing houduji

放射性厚度计 radioactive thickness meter 带有放射源和核探测器，利用电离辐射对材料的厚度进行非破坏性测量的装置(见图)。厚度计实际测量的是被测材料的单位面积的平均质量。只有当被测材料的有效原子序数和密度不变的情况下，测量才能真正反映几何厚度。厚度计可分为三种：(1)透射式厚度计，利用材料对电离辐射的透射原理制成的厚度计；(2)反散射式厚度计，利用材料对电离辐射反散射的原理制作的厚度计；(3) X荧光厚度计，利用材料在电离辐射作用下激发X荧光原理制作的厚度计。厚度计所用的放射源可以是α、β或γ源。放射源的射线能量选择与所测材料的最大厚度有关。X荧光厚度计的放射源的辐射能量必须大于被测元素的壳层电子吸收限。通常X荧光厚度计用来测定镀层的厚度，而反散射厚度计除用来测镀层厚度外，也可测塑料薄膜、纸张的厚度。目前厚度计主要用于轧钢、电镀、橡胶、造纸、木材和塑料行业。　（撰写：刘以思　审订：吕延晓）



放射性厚度计

fangshexing huodu

放射性活度 activity 在给定时刻内，处在特定能态的一定量的某一放射性核素的活度 A 是 dN 除以 dt 而得的商，即

$$A=dN/dt \qquad (1)$$

式中 dN 为在该时间间隔 dt 内，该核素从核能态发生自发核跃迁数的期望值。放射性活度的单位为每秒 (s^{-1})，专用单位名称为贝可勒尔 (Bq)。“特定能态”是指该放射性核素的基态，除非另有规定。处在特定能态的一定量的某一放射性核素的活度 A 也可用下式 (2) 表示

$$A=\lambda N \qquad (2)$$

式中 λ 为该能态的衰变常数；N 为处在该能态的核子数。目前国际上某些国家仍然沿用放射性活度的非国际单位制单位居里 (Ci)。　（撰写：董柳灿　审订：潘自强）

fangshexing huodu nongdu

放射性活度浓度 activity concentration 某物质的活度 A 除以该物质的体积 V 而得的商，即

$$Av=A/V$$

放射性活度浓度的单位为贝可勒尔每立方米 ($Bq \cdot m^{-3}$)。有时亦称为体积放射性活度 (volumic activity)。

（撰写：董柳灿　审订：潘自强）

fangshexing jiazhuangxianbing

放射性甲状腺病 radiation thyroid disease 电离辐射所致甲状腺疾病的总称。电离辐射以内、外照射方式作用于甲状腺的滤泡上皮细胞，可引起损伤效应。甲状腺滤泡上皮细胞是低度增殖、高度分化的组织，对辐射的敏感性低，但增殖的或幼年发育中的甲状腺对辐射敏感性高。主要的病症分为五种：(1)急性放射性甲状腺炎 (acute radiation thyroiditis)，指短期内甲状腺受到大剂量 (200 Gy以上) 照射所致损伤及其引起的甲状腺机能亢进症。(2)慢性放射性甲状腺炎 (chronic radiation thyroiditis)，指甲状腺受到过量 (0.3 Gy以上) 照射后，导致体内产生自身抗甲状腺抗体，引起自身免疫性甲状腺损伤。(3)放射性甲状腺功能减退症 (radiation hypothyroidism)，可分为原发和继发两种功能减退，前者指甲状腺直接受照射引起；后者指辐射作用于下丘脑或垂体等间接引起。(4)放射性甲状腺良性结节 (radiation benign thyroid nodule)，指甲状腺受辐射照射后诱发的结节性病变，经病理学等方法证实为良性的结节。(5) 辐射诱发甲状腺癌 (radiation induced thyroid cancer)，甲状腺是辐射致癌的敏感器官。^{131}I 诱发甲状腺癌的危险是外照射的20%～25%，女性较男性敏感，儿童较成人敏感。甲状腺癌多为分化程度较高的乳头状腺癌，转移较少，死亡率低。

（撰写：李延义　审订：吴企）

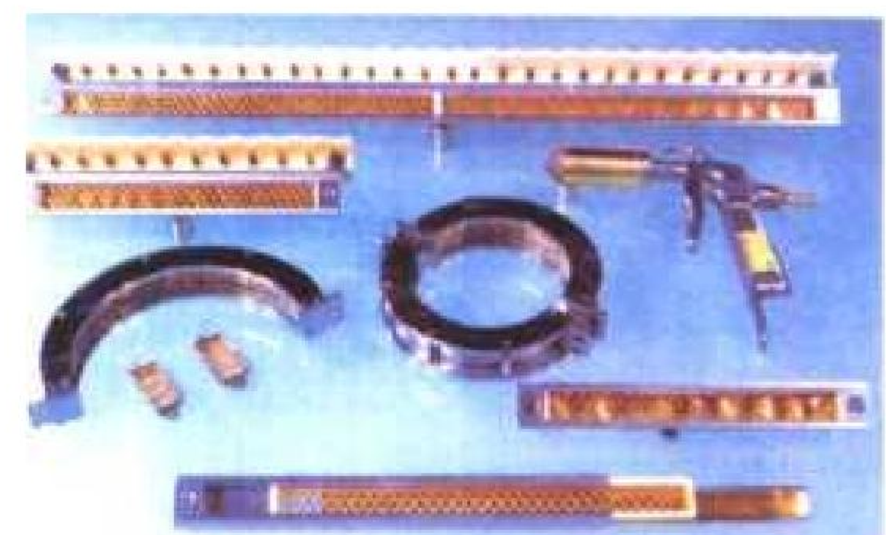
fangshexing jiaoti

放射性胶体 radiocolloid 由放射性物质作为分散相或分散相组分之一所形成的胶体。放射性胶体除具有一般胶体的特性外，还具有放射性。随溶液介质条件的不同，可形成两种放射性胶体：(1)真胶体。溶液中微量放射性核素形成一些直径1～100 nm的难溶化合物，由于浓度太低，不能以沉淀形式析出，而是凝聚成胶粒分散在溶剂中。它具有胶体的一切特性，例如，不能透过半透膜、扩散系数小、不能用离心法 (3000～6000 r/min) 沉降等。(2)假胶体。溶液中微量放射性核素浓度太低，不足以形成难溶化合物，但可吸附在溶液中的杂质胶粒上。它既有一般胶体的特性，又服从离子吸附规律。假胶体中的放射性核素能以离子状态透过半透膜，当胶粒大于100 nm时，又可用离心法沉降。真胶体或假胶体的形成，取决于放射性核素和溶液的条件。随着条件的变化，真假胶体可以转化。在某种条件下，两种胶体可以同时存在。在溶液中经过各种化学变化而形成难溶化合物的趋势越大的放射性核素，越有利于形成放射性胶体。此外，溶液的酸度、其他电解质或杂质悬浮粒子的存在，溶剂的性质、溶液的保存时间和保存方式等对放射性胶体的形成都有影响。

（撰写：江林根　修订：罗文宗　审订：崔安智）

fangshexing jingdian xiaochuqi

放射性静电消除器 radioactive static eliminator 借助于放射性同位素释放出来的射线使空气电离成正负离子，以中和带电体表面静电荷的装置(见图)。放射性静电消除过程实际上是利用放射性同位素的电离辐射为非导体表面静电荷的泄漏打开通路。由于α粒子和β射线的比电离值较之γ射线大，静电消除器大多采用发射α或β粒子的核素制成，如用 ^{210}Po, ^{238}Pu, ^{241}Am, ^{85}Kr, $^{90}Sr/^{90}Y$ 和 ^{147}Pm 等。静电消除器可按使用要求制成条状、环状、盘状等多种形式。还可制成“离子风”，如与喷枪、喷嘴、鼓风机等相结合将电离的空气吹出，以消除物体表面的静电荷。β射线静电消除器较之α射线有更强的穿透力，故可用作粉末物料的静电消除。放射性静电消除器结构简单、易于安装、不需要电源、不产生电击、而且使用时不发热、不产生火花，多用于纺织、印刷、造纸、胶片、卫生材料、塑料薄膜等行业，特别适用于易燃易爆环境。



放射性静电消除器产品

（撰写：吕延晓　审订：蔡善钰）

fangshexing liaoweiji

放射性料位计 radioactive level meter 带有放射源和核探测器，利用电离辐射测量来指示容器内部液体或颗粒状物质装填高度的测量装置。通常放射源和探测器分别安装在容器两侧。当物料高于探头安装位置，射线被吸收，探测器测到的射线强度减弱，当物料低于探头安装位置，射线不被物料吸收，探测器测到的射线强度增强，以此指示物料的装填高度。料位计用的放射源有γ源和中子源。料位计可按放射源与探测器的配置分为单点、多点和连续型料位计，也可根据要求设计成通断式或随动式料位计。粒位计目前广泛用于食品、化工、采矿、冶金和建材行业，既可单独使用，也可用于过程控制。

（撰写：刘以思　审订：吕延晓）

F

fangshexing liuchuwu

放射性流出物 radioactive effluence 从伴有电离辐射的设施、实验室通过气体或液体途径排入环境的放射性物质流。气体途径包含有放射性惰性气体、蒸气、挥发性气体以及气溶胶。液体途径包含有溶剂、溶质以及悬浮物中的放射性核素。向环境的排放方式可以是有计划排放，也包括非计划排放。放射性流出物是一特定设施对环境影响的基本源项，辐射环境管理的重要任务是控制放射性流出物的总量。不同的核设施，放射性流出物中的核素种类、含量、物理、化学性质不尽相同，流出物排入的空域环境及受纳水体的容量和稀释、弥散条件各不相同。因此，对放射性流出物的管理要因地制宜。但共同点是年排放总量须经批准，日常排放在监控下进行，实际的排放量可以通过流出物监测核准。必要时需要进行验证性监测。

（撰写：赵亚民　审订：潘自强）

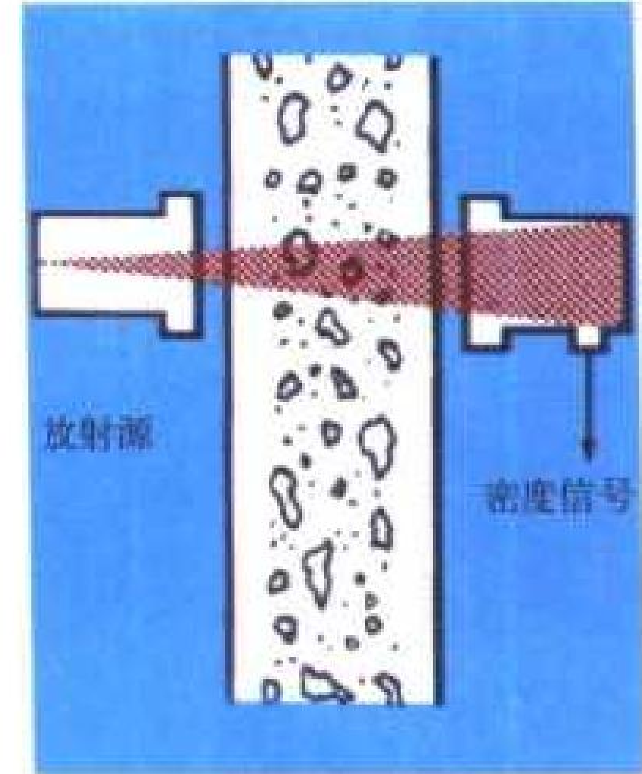
fangshexing liuchuwu jiance

放射性流出物监测 radiological effluents monitoring 对核设施在运行过程中排出的气载放射性和液态放射性污染物流的核素组成及其量的监视性测量。放射性流出物要排入环境，应当满足几点基本要求：(1) 排放量必须低于审管部门核准的排放限值，以保证公众受到的照射不会超过规定的剂量水平；(2) 排放是受到控制的；(3) 对排放的控制是优化的。流出物监测的目的是：(1) 证明释放到环境中去的流出物的量是遵守根据排放限值所制定的管理限值；(2) 检验核设施的运行情况及流出物控制系统的性能是否符合设计要求；(3) 为环境评价提供源项数据，也是核设施必须向社会公众通报的监测项目。流出物在被排入环境之前，其放射性浓度通常较高，因此流出物监测可以以较高的准确度来鉴别并确定释放到环境中的放射性核素的组成和量。另一方面，环境监测的结果能提供对公众受照情况的更直接的估计，还能提供有关环境污染水平的累积趋势和是否还存在尚未受到监测的新的流出物等方面的信息。因此流出物监测和环境监测两者应该相互补充。流出物的监测类型包括总活度测量和关键核素与某些特殊放射性同位素的测量。流出物监测的取样方法的设计应保证获得的样品与流出物具有相同的核素组成，并在活度上正比于排放的量。还应注意防止气载污染物在取样管道内的可能吸附或沉积所引起的损失。对取样流量的标定，必须在接近实际负载情况的条件下完成。对于液态流出物，为了防止意外情况下严重污染环境，一般必须采用槽式排放，即使液态流出物先排入暂存槽内，经取样测量证明其污染情况满足排放要求之后再逐槽排放。

（撰写：夏益华　杨怀远　审订：胡遵素　潘自强）

fangshexing miduji

放射性密度计 radioactive density meter 带有放射源和核探测器，对材料的密度或非均匀混合物平均密度（平均比重）进行测量的装置。放射性密度计是基于材料对电离辐射的吸收或散射与材料密度呈函数关系的原理而制成。密度计按辐射测量方式可分为透射式密度计和反散射式密度计。在透射式密度计中放射源和探测器分别安装在材料的两侧（见图），而在反散射式密度计中放射源和探测器位于材料的同侧。密度计在化工、选矿、造纸、食品和水文学等方面被广泛地用来控制各种浆液的密度以及测量河水中泥沙的含量。



放射性密度计示意图

（撰写：刘以思　审订：吕延晓）

fangshexing neirongwu

放射性内容物 radioactive contents 包装内的放射性物质连同被放射性物质污染或活化的各种固体、液体和气体。

（撰写：董柳灿　审订：赵亚民）

fangshexing pifu sunshang

放射性皮肤损伤 radiation skin injury 又称放射性皮肤烧伤。皮肤接受过量电离辐射照射引起的损伤（见图）。引起放射性皮肤损伤的常见原因有：核工业反应堆和后处理厂工人因违章操作或意外事故接触放射性元件和放射性液体受到所释放的β射线的照射；因核弹爆炸或反应堆严重事故受到中子、γ射线照射或接触其放射性落下灰受到β射线照射；操纵X射线的医生、接受X射线或γ射线治疗的患者因缺乏有效防护受到照射；操纵电子加速器的工作人员因违章操作受到电子束（β射线）的照射；意外接触 ^{60}Co, ^{137}Cs 或 ^{226}Ra 等辐射源受到γ射线照射。放射性损伤的急性期皮肤出现红斑、水泡和坏死，与一般热力烧伤的表现相似，但是很难愈合；急性期过后或接受慢性照射时可出现慢性损伤，皮肤粗糙、皲裂，有可能癌变。放射性皮肤损伤可采取局部对症治疗或植皮。我国曾颁布《放射性皮肤疾病诊断标准及处理原则》，对皮肤损伤的诊断、分度和治疗进行介绍。根据这个标准，引起Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ度皮肤放射性损伤的参考吸收剂量是5、10和15 Gy。

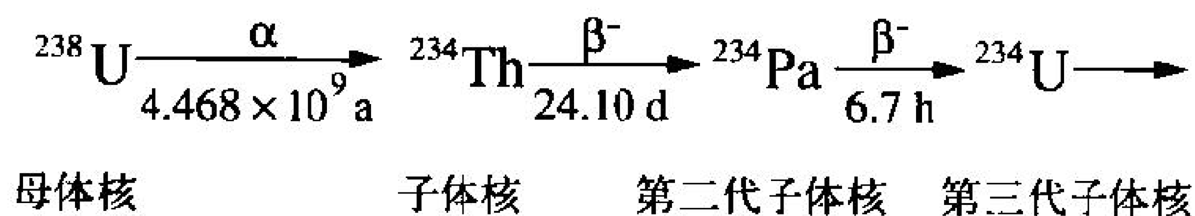

放射性皮肤损伤

照片(左)：加速器电子束引起放射性皮肤损伤，剂量63 Gy，事故1周后手掌水泡坏死；照片(右)：反应堆一回路水污染引起全身放射性皮肤损伤，吸收剂量6～15 Gy，图为38天后脚背溃疡结痂

（撰写：孙世荃　审订：吴　企）

fangshexing pingheng

放射性平衡 radioactive equilibrium 母体核衰变生成子体核、且子体核也进行衰变，生成第二代甚至第二代以远子体核时，如果母体核半衰期比子体核半衰期长，那么经过一定时间之后，整个体系的放射性活度随时间的变化规律仅取决于母体核素的半衰期，称为该体系达到放射性平衡。如^{238}U的衰变



$$^{238}U \xrightarrow[4.468\times10^9\,a]{\alpha} {}^{234}Th \xrightarrow[24.10\,d]{\beta^-} {}^{234}Pa \xrightarrow[6.7\,h]{\beta^-} {}^{234}U \longrightarrow$$

母体核 子体核 第二代子体核 第三代子体核

^{238}U母体核衰变时，^{234}Th等子体核会逐渐积累，同时也进行衰变。子体核出现既生长又衰变的过程。经过约5个以上^{234}Th半衰期之后，^{234}Th的放射性活度就保持常数值，并与^{238}U的活度相等，即^{238}U每衰变一次，^{234}Th也衰变一次。^{234}Pa也是这样。这时^{234}Th(或^{234}Pa)与^{238}U达到放射性平衡。放射性平衡有长期平衡和暂时平衡两种情况。由于放射性平衡的存在，人们可以像挤牛奶一样地从含有长半衰期母体核的体系中分离出短半衰期子体核。医学上应用很多的放射性核素发生器就是利用放射性平衡的原理实现的。

（撰写：张丕禄 审订：郭景儒）

fangshexing qirongjiao

放射性气溶胶 radioactive aerosol 固体或液体放射性微粒悬浮在空气或气体介质中形成的分散体系。气溶胶是不稳定的，小于0.1 μm的微粒在气体中作布朗运动，不因重力作用而沉降；1～10 μm的微粒沉降缓慢，悬浮在空气中较久。放射性气溶胶粒径一般为10^{-3}～10^{3} μm。放射性气溶胶是造成人体内照射的主要威胁。放射性气溶胶主要产生于核燃料循环中的各个环节，如铀矿开采、核燃料制备、反应堆运行、核燃料后处理、放射性废物处理等。另外，由核爆炸产生的放射性裂变产物被大气的悬浮物吸附也可形成气溶胶。净化处理一般分为三步：预处理、预过滤和高效微粒过滤。对放射性气溶胶防护的原则是封闭和稀释。放射性工作场所必须有良好的通风设施。

（撰写：李恒勤 修订：罗文宗 审订：崔安智）

fangshexing qiti shuaibianxiang

放射性气体衰变箱 radioactive gas decay tank 用于收集、贮存（或加压贮存）含有短半衰期放射性核素的气体的容器。放射性气体在衰变箱内滞留衰变后再作进一步处理。放射性气体衰变箱主要用于反应堆的废气处理系统。以压水堆为例，来自主回路冷却水内的溶解气体、系统容器内的覆盖气体和设备运行时的呼排气体，经收集和压缩之后，在衰变箱内贮存60～90天，使废气内短半衰期的放射性裂变气体（^{85}Kr除外）几乎全部衰变完。这些废气再经进一步处理后由烟囱排入大气稀释。

（撰写：刘春秀 审订：贾明）

fangshexing se

放射性铯 radioactive caesium 具有放射性的铯的同位素。铯的原子序数为55，拥有质量数116到146的38个同位素。其中^{133}Cs为稳定同位素，其余为放射性核素。铯重要放射性同位素有^{137}Cs ($T_{1/2}$=30.17 a)，^{135}Cs ($T_{1/2}$=3 × 10^{6} a)，^{134}Cs ($T_{1/2}$=2.06 a) 等。铯为元素周期表ⅠA族碱金属元素。价电子结构为6s^1，呈+1氧化态。铯的放射性核素为铀、钚裂变产物或用加速器、反应堆辐照靶件所制备。在核电厂运行和乏燃料后处理所产生的放射性废物中，放射性铯是受关注的重要放射性核素。放射性铯可用有机离子交换剂（阳离子交换树脂）和无机吸附剂（如沸石、蛭石）、亚铁氰化物共沉淀等方法除去。^{137}Cs有中等长度半衰期，是低中放废物近地表处置关注的重点对象；^{135}Cs半衰期极长，是高放废物和长寿命低中放废物地质处置长远环境影响所要重视的核素。^{137}Cs可用作辐照源和燃料能源，在探伤、工业量度计（测料位、密度、厚度等）、仪表刻度与校正及医疗等方面有广泛应用。

（撰写：罗上庚 审订：潘自强）

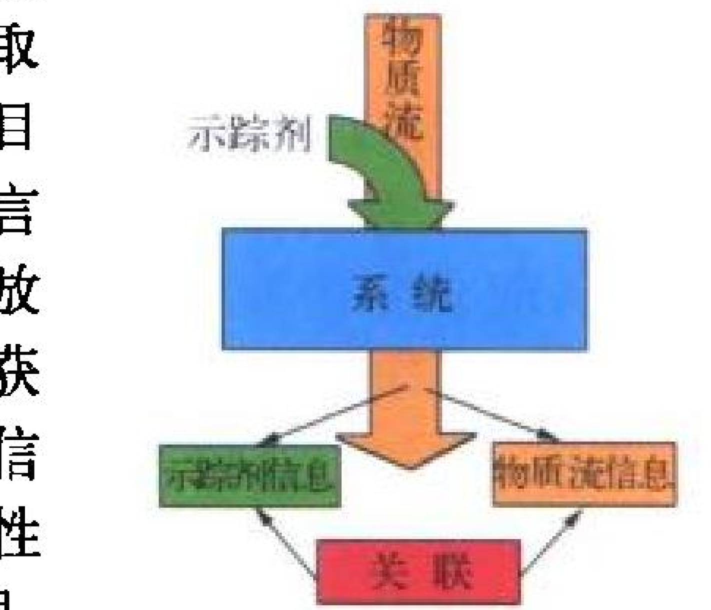
fangshexing shizong fangfaxue

放射性示踪方法学 radioactive tracer methodology 以放射性示踪剂为研究对象和出发点，通过数学综合与解析，从理论上揭示放射性示踪过程规律的通用方法。目前，群论、系统论、信息论、数学、物理、化学、辐射防护和模拟技术构成了放射性示踪方法学研究的基本框架。前期成果主要是应用数学方法建立基本流动模型、系统模型和过程模型，并根据已有的示踪数据对各种模型进行定量描述。今后研究的主要方向将是应用相关法一类理论方法优化示踪实验，提高测试水平，降低放射性示踪剂的使用量；将示踪数据与现代模拟技术有效地结合，评价与优化已有方法，设计出更为理想的方法，以求改善信息质量，有效地解决实际问题，从整体上提高放射性示踪技术的水平。

（撰写：张培信 审订：吕延晓）

fangshexing shizong jishu

放射性示踪技术 radioactive tracer technology 采用放射性同位素标记化合物为示踪剂的示踪测试技术。放射性同位素能够自发地产生电离辐射，因而可被探测或“识别”；对于一个由各种物质流组成的系统，具有与被研究物质流中的物质的物理、化学性质相似的放射性同位素标记化合物，可以用作跟踪该系统中目标物质流行为的示踪剂（即信息源）；根据示踪剂流与被研究物质流在信息上的关联性，只要获取示踪剂流的信息便可反映出目标物质流的信息（见图）。简言之，放射性示踪技术就是用放射性示踪剂流提供的信息来获得特定系统中被研究物质流信息的一种技术手段。由于放射性示踪剂能够发出射线且在物理、化学性质上与被示踪对象具有同一性，所以该技术可对物质流系统实现非接触式、非破坏性，在线、实时测量，且灵敏度高，可靠性强。目前，该技术的应用几乎遍及国民经济各领域，甚至人民的日常生活。其中医学、农业和水利中的应用更为普遍，工业和环境保护业应用日趋活跃。



放射性示踪技术原理图

（撰写：张培信 审订：吕延晓）

fangshexing shizongji

放射性示踪剂 radioactive tracer 与被研究物质的物理和化学性质相似，并可关联被研究物质行为信息的放射性同位素标记化合物。放射性示踪剂可以分为天然放射性示踪剂和人工放射性示踪剂。其中天然放射性示踪剂是由天然放射性同位素组成的，已经存在于被研究物质流之中的示踪剂，属于内源性示踪剂，如铀系、钍系和^{40}K示踪剂（确定油藏的岩性和煤中的灰分），^{14}C示踪剂（考古学纪年）。人工放射性示

踪剂是使用人工放射性同位素介入到物质流系统中，属于外源性示踪剂。放射性示踪剂又可根据其物态分为固态、液态和气态示踪剂，用于具有相应特性物质流的示踪：^{3}H 标记的水作为水的示踪剂；^{85}Kr 气体作为气体的示踪剂。对放射性示踪剂的要求主要有两点：一是保证示踪剂的物理和化学性与被研究物质流具有满意的同一性；二是示踪剂的浓度与活度应满足辐射安全的要求，同时不影响被研究的物质流系统。放射性示踪剂较之其他常规示踪剂，就物理化学性质而言，是一种最理想的示踪剂。原则上所有物质形式都可制成相应的放射性同位素标记化合物。工业上，放射性示踪剂可以在不影响生产的状况下，在线实时地被跟踪，大多用于物料平衡、流量测量、过程评价、故障诊断、腐蚀和磨损研究等。放射性示踪剂发展的主要方向是易检测、短寿命和低毒性。

（撰写：张培信　审订：吕延晓）

fangshexing shizong jianlou

放射性示踪检漏　leak detection by radioactive tracer　用放射性示踪剂检测工业装置泄漏的方法。放射性示踪检漏的常用方法有 3 种：(1) 直接通过放射性探测查找泄漏点；(2) 通过观察示踪剂的异常流动发现泄漏；(3) 根据示踪剂的物质平衡判断泄漏。例如：埋设管线的泄漏常用直接探漏法，一般是将管线分成数个管段分别检测。将测试管段用管线跨接器与主管线隔离，然后用溶有 γ 放射性示踪剂（$NH_4{}^{82}Br$）的水充满该管段，以使足够量溶有放射性示踪剂的水泄漏，随后用清洁水洗净剩余在管段内的放射性，最后用 γ 探测器查找泄漏的放射性，即可定位泄漏点。γ 探测器在地面上沿测试段管线的走向探测泄漏点，也可以用一种小型探测装置在内部通过管段，测试确定泄漏位置。地面设备检漏则可能更多采用非直接探漏法（即第 2 和第 3 种方法）。放射性示踪检漏的特点是：灵敏、准确、快速并且基本上不影响生产。

（撰写：张培信　审订：吕延晓）

fangshexing shizong liuliang celiang

放射性示踪流量测量　flow rate measurement by radioactive tracers　基于放射性示踪原理测定液体和气体流量的方法。放射性示踪流量测量主要有两种方法：即“通过时间”法和连续稀释法。“通过时间”法是将示踪剂以短脉冲的形式注入待测流体，经过一定距离，根据示踪剂通过的时间可得到流体的流量信息。连续稀释法是将一定浓度的示踪剂以恒定速率注入到待测的流体中，根据示踪剂平均浓度（稀释原理）可得到流体的流量信息。“通过时间”法适合于测量区域内流体体积已知的密封管道的流量；连续稀释法则适合于测量区域内流体体积不是精确已知情况，如敞开的沟渠，充盈不全的管道或有沉积的管道。两种方法精确度均可达到 1% 以内，广泛用于工业上流量测量和各种流量计的刻度，操作方便而且不影响被研究系统的正常工作。

（撰写：张培信　审订：吕延晓）

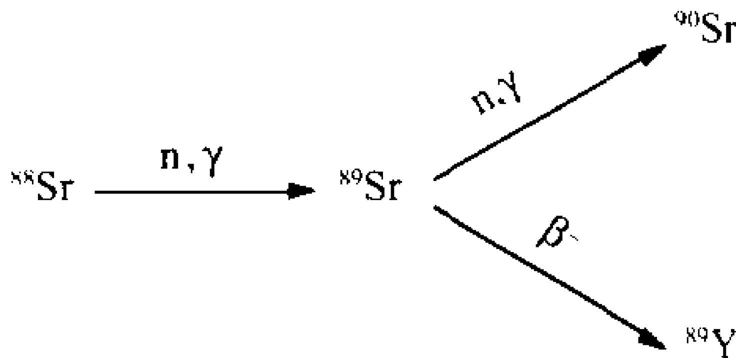
fangshexing shuihuafa

放射性水化法　radiohydrochemical prospecting method　通过研究天然水中铀、镭、氡的含量及其分布特征和变化规律寻找铀矿的方法。地下水流经铀矿体（含其原生晕、次生晕），使其中所含放射性核素转入水溶液中，并在矿体附近形成水异常晕。据其变化规律与分布特征推测隐伏铀矿化，溯源查明矿体的大概位置和可能的铀远景区。该方法速度快、成本低、提供的资料具代表性，适用于在区调中作为战略选区的手段。在地形切割较剧烈、地下水出露较广、地表水系较为密布、氧化带较为发育的半湿润或湿润地区有利于开展此项工作。

（撰写：蒋永一　审订：李家俊）

fangshexing si

放射性锶　radioactive strontium　具有放射性的锶的同位素。锶的原子序数为38，拥有质量数从 77 到 99 的 27 个同位素。其中 ^{87}Sr 为稳定同位素，其余为放射性同位素。重要放射性核素有 ^{90}Sr ($T_{1/2}$=28.5 a)，^{89}Sr ($T_{1/2}$=52.7 d) 和 ^{85}Sr ($T_{1/2}$=65 d) 等。锶是元素周期表中 ⅡA 族碱土金属元素。价电子结构为 $5s^2$，稳定价态为 +2。放射性锶为铀、钚裂变产物，或用加速器和反应堆辐照靶体所制备。反应堆运行和乏燃料后处理所产生的放射性废物中，特别是后处理工艺废物中含有较多 ^{90}Sr。放射性锶可用共结晶沉淀法、絮凝沉淀法、离子交换法、吸附法、电渗析法等除去。^{90}Sr 为纯 β 辐射体可用于医疗、核燃料能源。^{89}Sr，^{85}Sr 也可用于医疗。加速器生产 ^{85}Sr 的核反应为：$^{85}Rb \xrightarrow{d,2n} {}^{85}Sr$。反应堆生产 ^{90}Sr 的核反应为



^{90}Sr 也可从高放废液中分离提取。

（撰写：罗上庚　审订：潘自强）

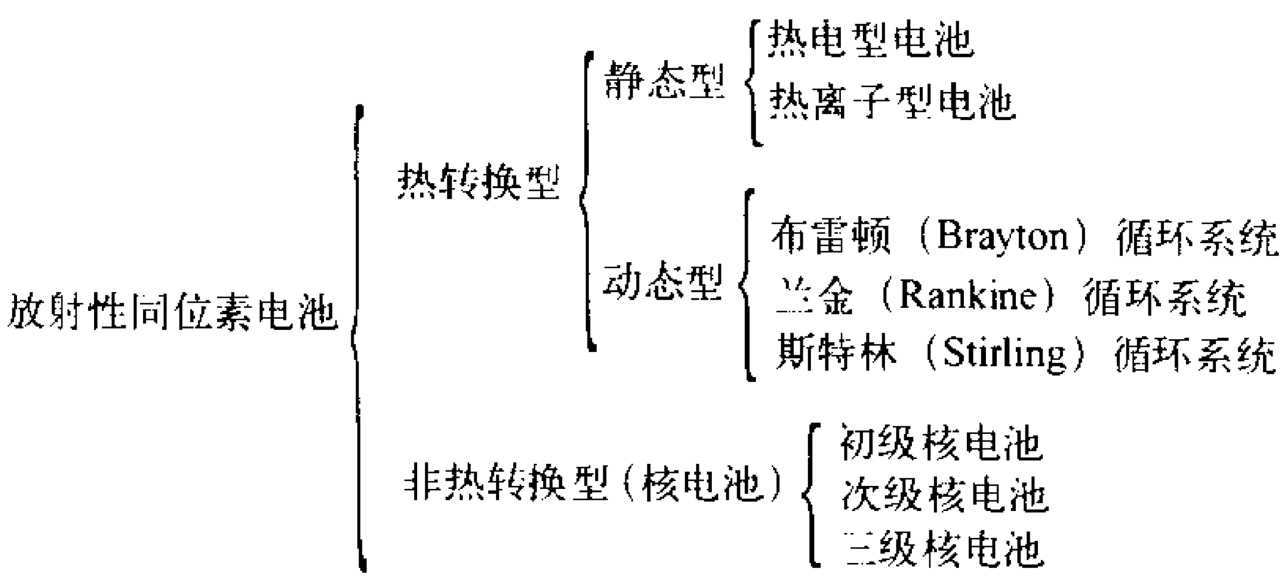
fangshexing tongweisu

放射性同位素　radioactive isotope　某种元素中发生放射性衰变的同位素。放射性同位素按其来源有天然放射性同位素与人工放射性同位素之分。前者存在于自然界的矿石之中，例如 ^{232}Th，^{237}Np，^{235}U，^{226}Ra 等。人工放射性同位素则是借助于核反应堆和带电粒子加速器等手段，采用人工方法制备的。如 ^{11}C，^{32}P，^{131}I 等。一些天然放射性同位素（如 ^{235}U 和 ^{238}U）与人工放射性同位素（如 ^{3}H，^{239}Pu 等）都是当前具有重要应用价值的核材料，而其他更多的放射性同位素则制作成密封放射源或示踪物质（包括标记化合物），广泛用于工业、农业、医学、资源、环保、军事与科学研究等领域之中。

（撰写：吕延晓　审订：卢玉楷）

fangshexing tongweisu dianchi

放射性同位素电池　radioisotope battery　把放射性同位素衰变时产生的热能转变为电能的装置。按其工作原理可分为热转换型和非热转换型两大类（见图）。热转换型电池是将放射性同位素热源的热能通过换能器（静态型或动态型）转变



放射性同位素电池分类

为电能的装置；非热转换型电池是将放射性同位素放射出来的高速带电粒子的动能直接转变成电能，或利用射线使物质产生电离的次级效应而转变成电能的装置，又称核电池。目前研究最为成熟、并已实用化的放射性同位素电池是一种属于静态转换的热电型（又称温差电型）电池。其结构主要包含同位素热源和半导体换能器。其余部件有绝缘材料、外壳散热器、辐射屏蔽层及电压变换和功率调节装置。放射性同位素电池由于具有结构紧凑、运行可靠、使用寿命长、环境适应性强，不需维修等特点，可与太阳能电池和化学电池相媲美，因而可用于某些特定的应用场合。如在空间为人造卫星、月面自动观察站和外层行星探测器供电；在海洋中为航标、信标、灯塔、水下监听器和海底实验室等供电；在陆地上可作为偏远地区无人管理气象站电源，也可为飞机导航站、微波中继站、地震观察站供电；此外，在生物医学等领域也有其特殊的用途。（撰写：吕延晓　审订：蔡善钰）

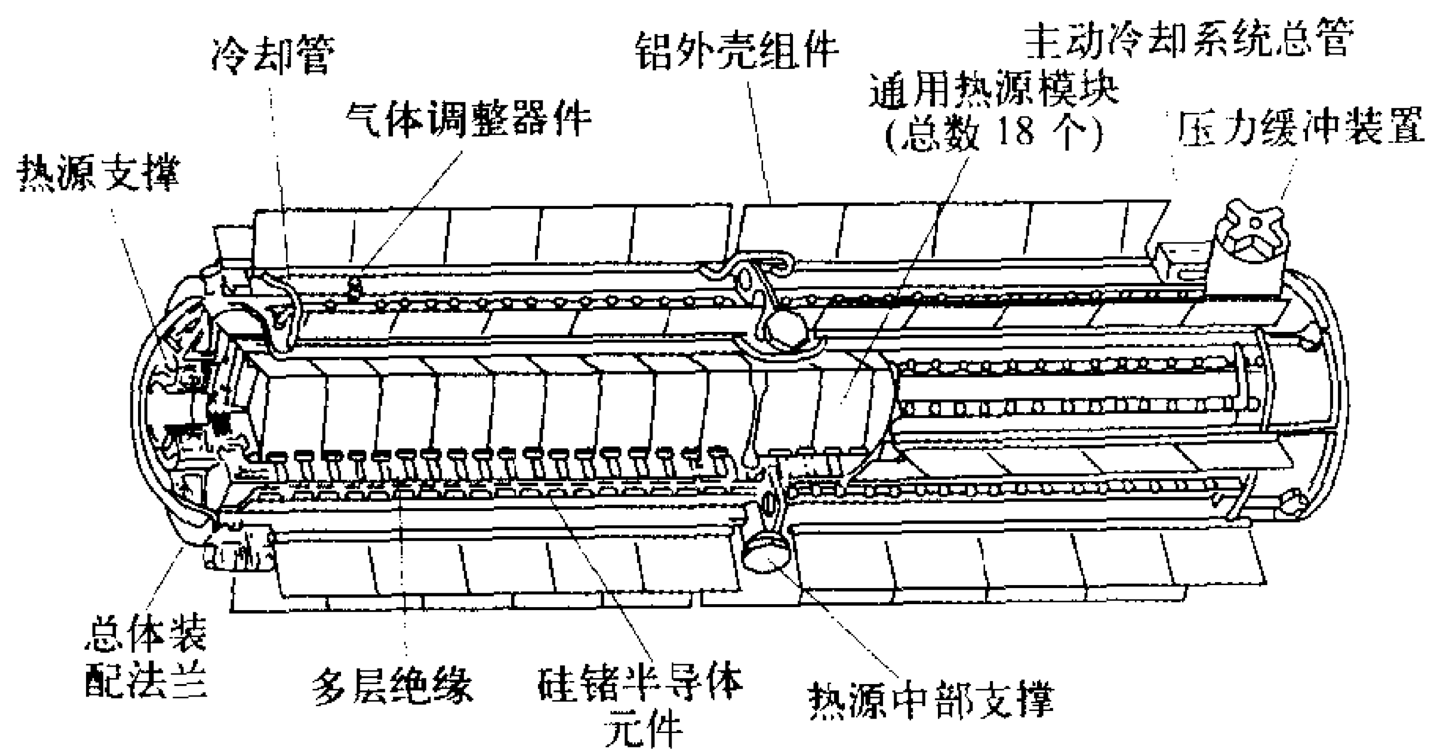
fangshexing tongweisu nengyuan

放射性同位素能源　radioisotope energy source　基于放射性同位素衰变时产生的能量而加以利用的一种核能源。放射性同位素由于原子核的不稳定性而不断发生衰变。当所产生的高速粒子流（如α，β，γ射线）与物质相互作用时，可通过适当的方式将其动能转变为光能、热能和电能。核衰变能虽然很小，但与核裂变能、核聚变能并列构成了核能的三大来源之一。放射性同位素能源一般都是为满足某些特殊需要而提供能量，例如永久发光粉、原子灯（光源）、放射性同位素热源和放射性同位素温差发电机（电源）等。

（撰写：吕延晓　审订：蔡善钰）

fangshexing tongweisu reyuan

放射性同位素热源　radioisotope heat source　利用放射性同位素核衰变过程获取热能的装置（见图）。在这类热源中，放射性同位素在衰变时放出的高速带电粒子或γ射线与物质相互作用，最终被物质阻止和吸收，电离辐射的动能转变为热能，并使周围物质温度升高。因此放射性同位素热源实际上是将衰变能转变为热能的一种装置。放射性同位素热源由内外两大部件构成：内部件存有一定化学形式的放射性同位素，



航天用放射性同位素热源

称作“同位素燃料”；外部件为包封燃料的外壳，称作“燃料盒”。热源燃料的放射性核素的选择原则是功率密度高、半衰期较长、生物毒性小、材料相容性好、辐射屏蔽轻、生产成本低等。目前可供选择的核素有 ^{60}Co，^{90}Sr，^{210}Po，^{238}Pu 和 ^{242}Cm。其中使用最多的是 ^{90}Sr 和 ^{238}Pu。前者可制成 $^{90}SrTiO_3$ 燃料形式，多用于陆地和海洋用电源与热源；后者则可制成金属、氧化物或陶瓷等，由于屏蔽重量轻，主要用于空间热源（见图）和电源。（撰写：吕延晓　审订：蔡善钰）

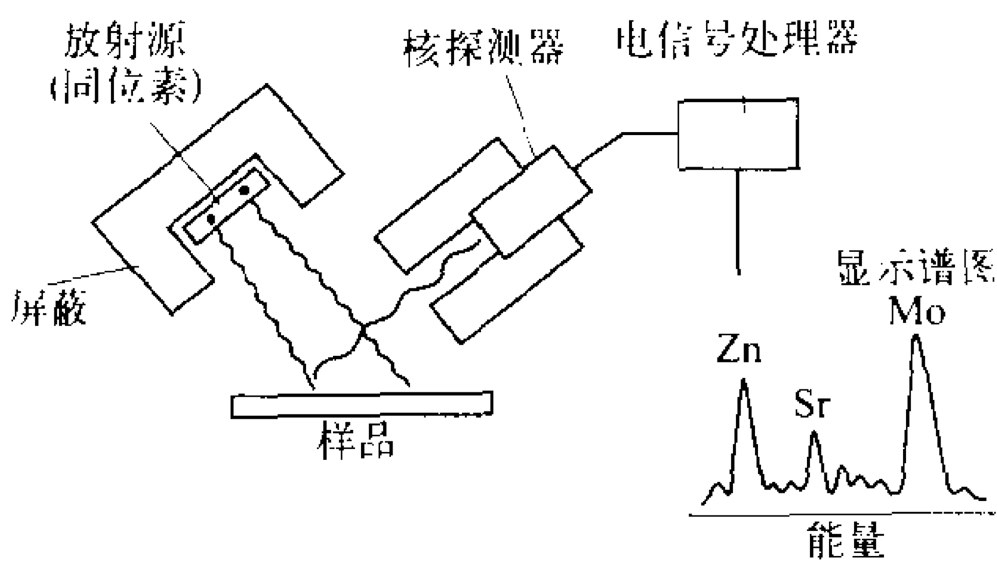
fangshexing tongweisu wencha fadianqi

放射性同位素温差发电器　radioisotope thermoelectric generator　利用热电（或温差电）换能方式将放射性同位素热源产生的热能转换为电能的一种装置。放射性同位素温差发电器是基于“温差电效应”，即两种不同的金属或合金形成回路，在其节点之间由于温度差异产生电位差这一原理而建立起来的。该发电装置主要由放射性同位素热源、热电偶、绝缘材料、屏蔽材料和功率调节装置等组成。随着半导体材料的出现，装置中热电偶换能元件的功率大为提高，目前热电转换效率可达5%～8%。放射性同位素温差发电器是一种“静态型”发电装置，无转动部件，结构紧凑，运行可靠，不受周围环境影响，可长期工作而无须维修，因而在宇宙航行、海洋开发、地面设施和生物医学等领域中一些特定场合获得了有针对性的应用。

（撰写：吕延晓　审订：蔡善钰）

fangshexing tongweisu X yingguang fenxiyi

放射性同位素 X 荧光分析仪　radioisotope X-ray fluorescence analyzer　利用放射性同位素放出的射线激发待测样品中各元素的特征X射线（即X荧光），根据X荧光的能量和强度对样品元素进行定性和（或）定量分析的一类仪表。放射性同位素X荧光分析仪主要由放射源、核探测器、电信号处理器和显示装置组成（见图），其结构轻巧，便于携带，可在野外现场使用，也可用于生产过程在线分析。目前这类仪器在开展地质、矿物、合金、石油、建筑材料、考古文物、医学生物、环保等样品的非破坏性快速分析中已取得了很好的效果。采用不同的放射源和探测器，放射性同位素X荧光分析仪可分析原子序数大于13的各种元素，含量范围从 10^{-6} 直至90%或90%以上。

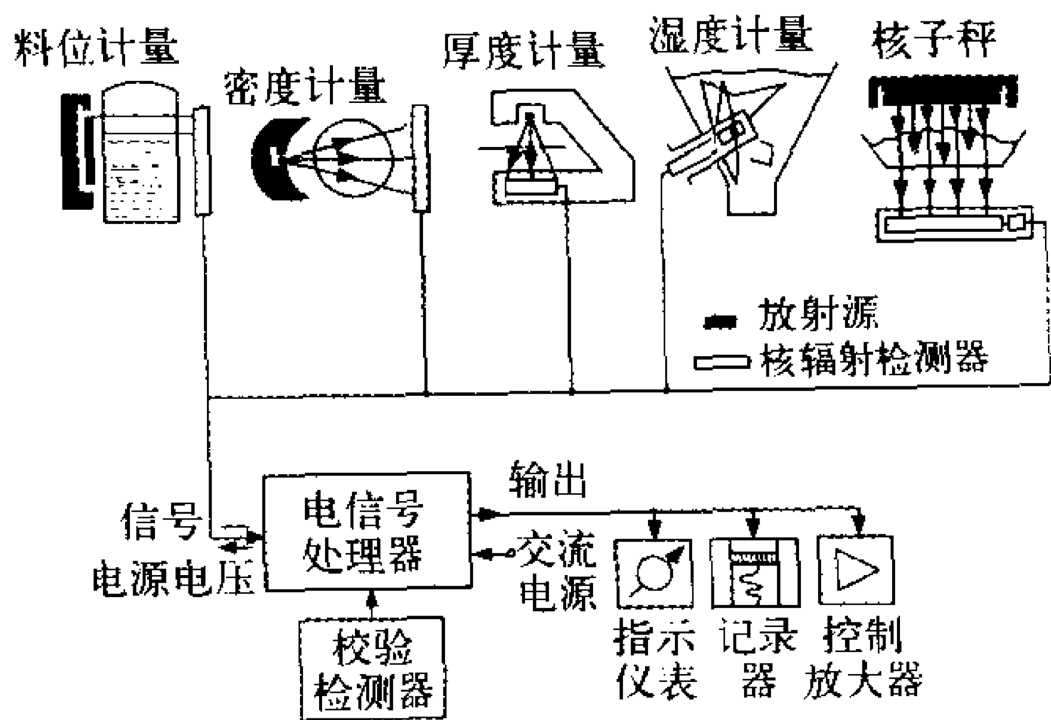


放射性同位素 X 荧光分析仪示意图

（撰写：吕延晓　审订：张培信）

fangshexing tongweisu yibiao

放射性同位素仪表　radioisotope instruments　通过射线与物质相互作用（如电离、激发、吸收、散射等）实现物质非电参数测量的一类仪表。放射性同位素仪表一般由放射源、核辐射探测器、电信号处理器和显示装置组成（见图）。这类仪表



放射性同位素仪表结构与类型

在工业上可对物料的厚度、料位、密度、质量和成分等非电参数进行非接触测量，因而在冶金、化工、石油、电力、造纸、纺织等部门获得了广泛的应用。放射性同位素仪表的信息输出与电子计算机相结合，还可构成闭环反馈系统（核子控制系统），对生产过程实行自动监控，成为工业自动化的重要内容。

（撰写：吕延晓　审订：张培信）

fangshexing tongweisu zhongziyuan

放射性同位素中子源　radioisotopic neutron source　利用放射性同位素制成的中子源，简称同位素中子源（见图）。在放射性同位素的各种衰变方式中惟有α粒子或γ光子才能在轻元素靶核（如铍等）上引起中子发射，常把这类核反应产生的



放射性同位素中子源

中子源分别称作（α, n）中子源和（γ, n）中子源（又称光中子源）。此外，利用某些重核自裂变制成的中子源称“自裂变中子源”，也归在同位素中子源一类。其中 ^{252}Cf 的中子产额最高。同位素中子源的最重要参数是中子强度（中子发射率）、中子能谱和衰减特性。其中中子强度与放射性同位素总量、轰击粒子能量和靶材料产生中子的核反应截面相关。通常（α, n）中子源的中子能谱是一个连续谱，而（γ, n）中子源发射的则是单能中子。同位素中子源较之反应堆中子源和加速器中子源，中子注量率虽然较低，但轻巧灵活，易于制备，成本低廉，使用方便，目前广泛用于反应堆启动、工业过程控制、中子测井、活化分析、湿度测量、辐射育种、中子治癌、中子照相等领域。　（撰写：吕延晓　审订：蔡善钰）

fangshexing tuduji

放射性凸度计　radioactive profile gauge　带有放射源和核探测器，利用电离辐射与物质相互作用原理确定板材断面不平度的测量装置。可用单一放射性厚度计横向扫描或多个放射性厚度计横向排列来实现，也可采用辐射成像技术，根据射线透过板材的强度为透射点厚度的函数，将测得的这一函数关系数据通过计算机处理可显示出板材的断面图像及断面不同位置的厚度。凸度计目前一般用于钢板热轧过程，以保证产品质量。　（撰写：刘以思　审订：吕延晓）

fangshexing wuzhi chengyunzhe

放射性物质承运者　carrier of radioactive material　使用任何运输工具承担运输放射性物质的任何个人或单位，它既包括供雇用的或接受报酬的运输者，也包括自行负责的运输者。前者在某些国家称为公共运输业或合同承运者，而后者在某些国家称为私人承运者。承运者必须遵循放射性物质运输安全规程，在运输过程中切实采取辐射防护措施，开展辐射防护监测工作，加强安全教育与技能训练，还应视具体情况建立健全辐射防护机构或设置专职或兼职辐射防护人员，配备处理事故及应急情况人力和物力。把辐射照射控制在可合理做到的尽可能低的水平，确保放射性物质运输安全。

（撰写：董柳灿　审订：赵亚民）

fangshexing wuzhi fahuozhe

放射性物质发货者　consignor of radioactive material　将装有放射性物质的一个或多个货包，或一批放射性物质，提交运输的任何个人或单位。在运输文件中命名为发货者。发货者的责任如下：（1）要遵循放射性物质运输安全规定关于标志、标记和标牌方面的有关要求。(2) 在随每批托运货物的运输文件中必须有按放射性物质运输安全规定所要求的托运货物的填写项目，如专有货运名称、联合国分类数“7”、各种放射性核素的名称或符号、有关放射性核物质的物理和化学形态的说明，所运输的放射性内容物的最大放射性活度，货包分级，运输指数，适用于托运货物的各主管当局的批准证书等。(3) 发货者在运输文件中填写声明，如“本托运货物的内容物已根据适用的国际和本国政府规定由专有货运名称完全而准确地描述如上，按规定进行了分级、包装、标记和标志，在各方面都处于运输所需的正常状态。特此声明”。(4) 当空包装作为例外货包运输时，早先的标志应予以拆除或覆盖。(5) 发货者对承运者在操作方面如有要求，就必须在运输文件中加以说明。(6) 要求主管当局批准的任何货包在启运之前，发货者必须确保把每一份适合于该货包设计的有关主管当局的证书副本，提交给托运货物要运经或抵达的每个国家的主管当局。(7) 在证书的有效期间内，发货者必须保存好放射性物质运输安全规程所要求的各种证书和操作说明书。

（撰写：董柳灿　审订：赵亚民）

fangshexing wuzhi shouhuozhe

放射性物质收货者　consignee of radioactive material　接收装有放射性物质的一个或多个货包，或一批放射性物质的任何个人、单位。收货者要依据运输文件清点、核对放射性货包或放射性物质，并对所接受的货包或放射性物质的安全负责。　（撰写：董柳灿　审订：赵亚民）

fangshexing wuzhi yunshu teshu anpai

放射性物质运输特殊安排　special arrangement for the transport of radioactive material　使不满足放射性物质运输安全规程要求的托运货物经主管当局批准可以进行运输。这里所说的托运货物（consignment）是发货者提交运输的装有放射性物质的一个或多个货包，或一批放射性物质。除了特殊安排外，凡不满足放射性物质运输安全规程所有要求的托运货物不得运输。主管部门可以批准在特殊安排下运输不满足上述规程要求的单次托运货物或有计划的一系列多次托运货物的规定。这些规定必须满足以保证运输中总的安全水平至少相当于全部满足上述规程要求所具有的安全水平。这类国际托运货物必须经多方批准。　（撰写：董柳灿　审订：赵亚民）

fangshexing xifu

放射性吸附　adsorption of radioactivity　放射性核素从液相或气相转移到固体物质表面上的过程。在放射化学工作中常遇到微量放射性核素在常量物质沉淀表面或其他固体物质（如玻璃、活性炭、硅胶、滤纸、纤维、不锈钢、塑料等）表面上的吸附。吸附现象非常广泛，吸附机制也各不相同。一方面人们可以利用吸附现象分离、浓缩或去除某些放射性核素。如 $BaCO_3$ 强烈地吸附 $^{210}Bi(RaE)$，而从溶液中分离 ^{210}Bi。含放射性核素 ^{85}Kr，^{133}Xe 和 ^{222}Rn 的废气通过活性炭过滤器被吸附而得到净化。另一方面要设法尽量避免某些放射性核素由于吸附而丢失或引起沾污。　（撰写：罗文宗　审订：崔安智）

fangshexing yanyun

放射性烟云 radioactive cloud 大气层核爆炸或其他原因产生的放射性微粒在空气中形成的云团。地面和低空爆炸时，云团会与从地面升起的放射性尘柱相接形成蘑菇状烟云，又称“放射性蘑菇云”。该云团在形成初期迅速上升和膨胀，其后云团随风飘移并不断扩散，最后消失。地面核爆炸时，大量地表物质卷入火球，云团中放射性颗粒较大，粒径为几十至几百微米。烟云呈暗灰色（见图 1）；空中爆炸时，火球不与地面接触，组成云团的颗粒微小，一般小于十几微米，烟云呈淡灰色（见图 2）。大威力的氢弹爆炸，当爆点上方空气

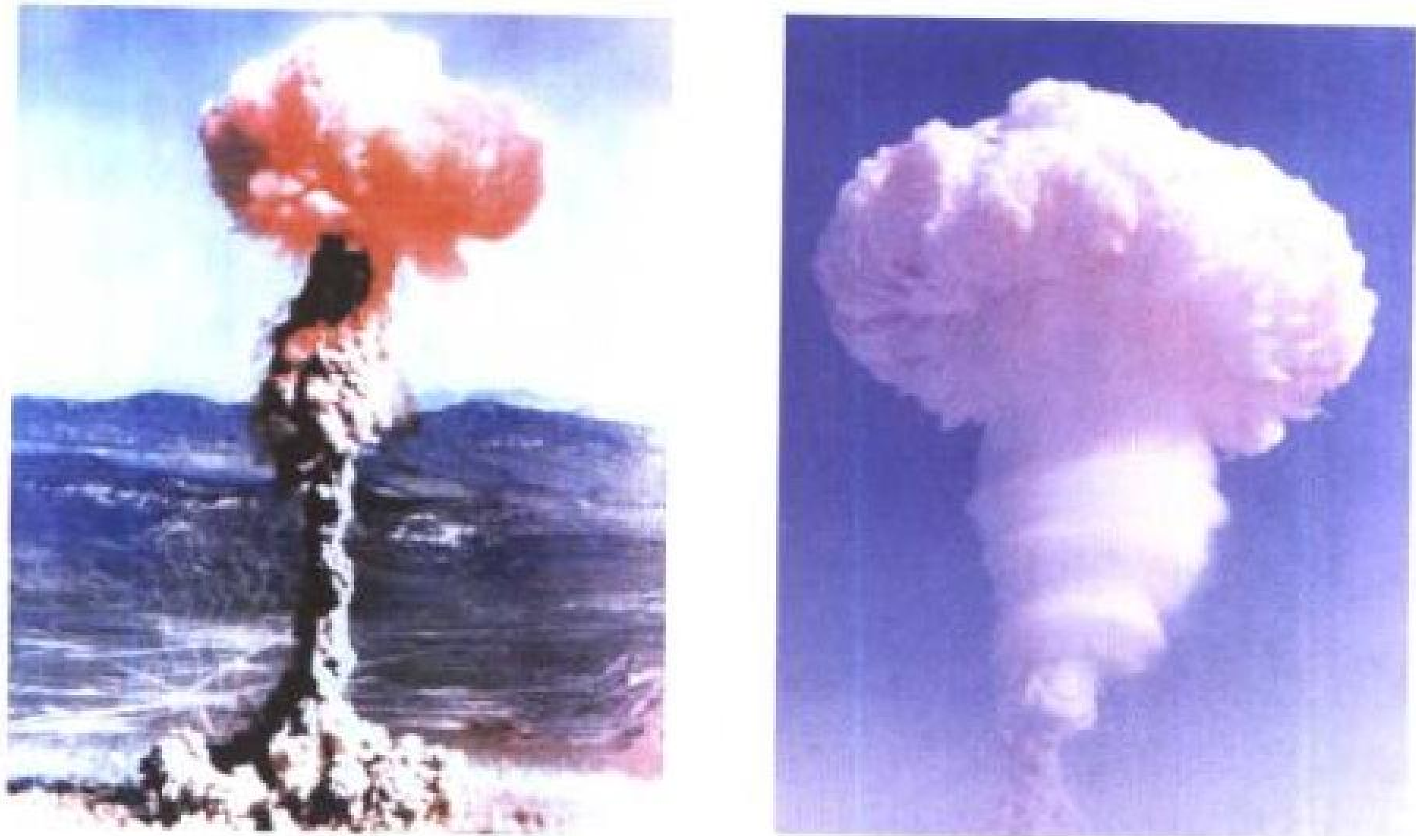


图 1 地面爆炸放射性烟云　　图 2 空中爆炸放射性烟云

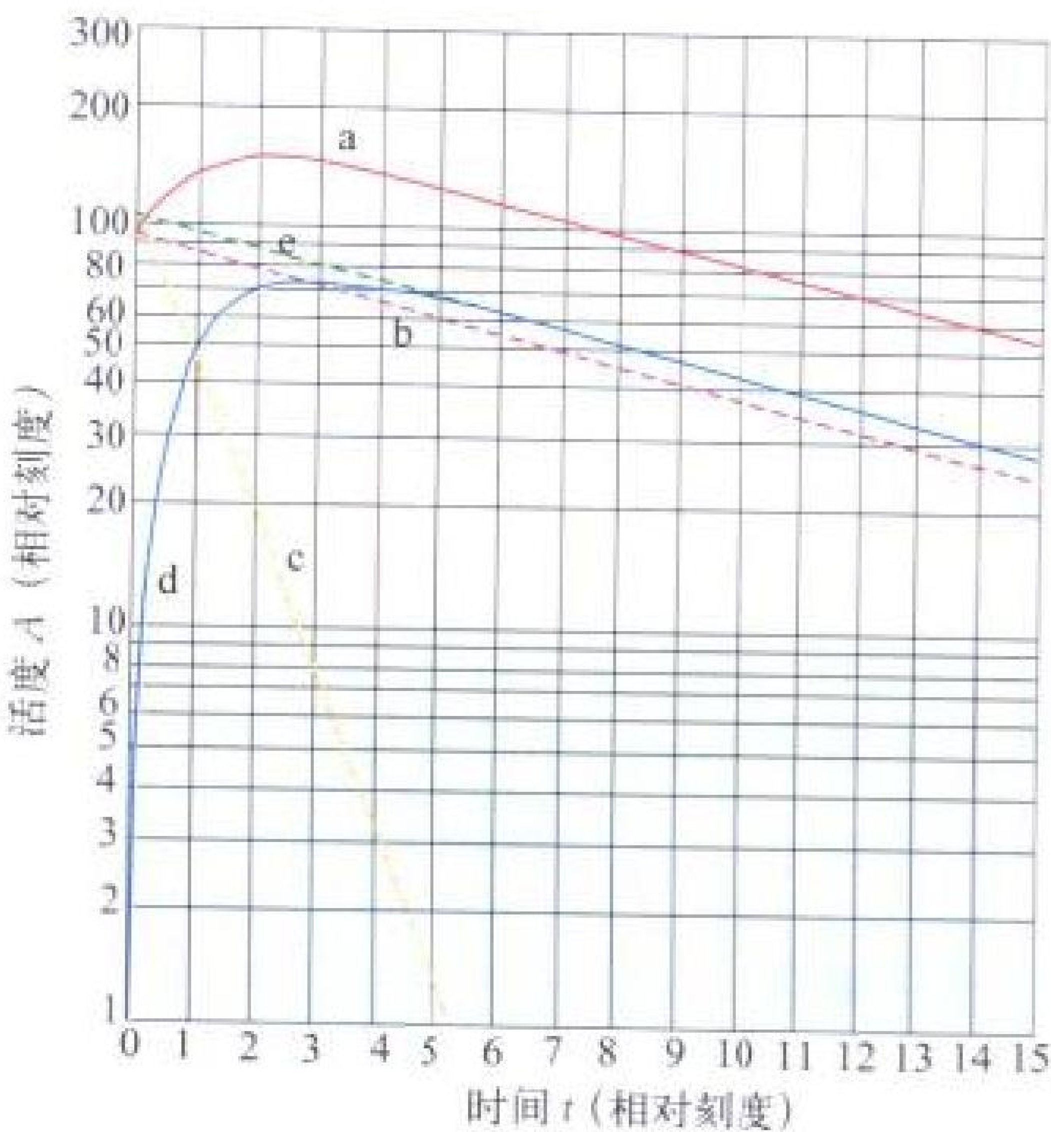
湿度较大时，由于冲击波波后的负压作用使水蒸气凝结，会出现“圆台阶”状的冷凝云。地面爆炸时，烟云中放射性物质约占总放射性物质的 90%，尘柱约占 10%；空中爆炸时，几乎所有的放射性物质集中在烟云中。烟云和尘柱中的高强度放射性物质，是爆区和云迹区放射性沾染的主要来源。放射性烟云的外观景象和几何尺寸，与爆炸威力和爆炸高度密切相关。因此，对放射性烟云的观测是战时近区核探测手段之一。（撰写：朱焕金　审订：乔登江）

fangshexing yaowu

放射性药物 radiopharmaceuticals 含有放射性核素用于人体供医学诊断和治疗用的一类特殊药物。放射性药物按其用途一般可分为诊断和治疗两大类；按核素辐射类型可分为发射单光子、正电子等放射性药物；按核素来源可分为加速器（生产的）药物、核反应堆药物等；按使用对象的不同可分为体内和体外放射性药物。放射性药物的应用始于 20 世纪初，1932 年首次用加速器人工制备放射性核素成功。1957 年 ^{99}Mo—^{99}Tc^{m} 发生器问世，对放射性药物和核医学的发展起了很大推动作用，^{99}Tc^{m} 核素性能优良、方便易得、几乎可用于人体各重要脏器的形态和功能显像，其使用量占诊断放射性药物用量的80%以上。放射性药物主要应用于：(1) 神经、心血管、呼吸、内分泌等各系统疾病的诊断；(2) 甲亢、肿瘤等疾病的治疗；(3) 体外检测人体激素等微量物质。目前，核医学中一些新领域的研究和发展，如放射性核素标记抗体放射免疫显像；神经、肿瘤等受体显像；氧耗量、葡萄糖、蛋白质、脂肪等代谢显像；^{11}C, ^{13}N, ^{15}O, ^{18}F 等短寿命正电子核素 PET 显像的研究与应用；以及基因、DNA 放射性药物的出现，使放射性药物进入了分子核医学研究新领域，放射性药物具有越来越广阔的应用前景。（撰写：唐志刚　审订：刘伯里）

fangshexing zanshi pingheng

放射性暂时平衡 radioactive transient equilibrium 当母体和子体都是放射性核素，母体核素的半衰期不太长，但仍然大于子体半衰期时，母体核随时间的减少不能忽略，此种情况达到的放射性平衡称之为暂时平衡。达到平衡之后，子母体活度之比为常数。母子体的总放射性活度随时间的变化规律只与母体的半衰期有关。暂时平衡体系中母体的衰变和子体的生长和衰变的情况如图所示。图中曲线 a 为母子体总放射性活度随时间的变化。直线 b 表示母体的衰变。曲线 d 表示子体既生长又衰变时放射性活度随时间的变化。直线 e 是将曲线 d 的后直线部分外推至 $t=0$ 处所得。直线 e 减去曲线 d 的相应部分得直线 c，它表示子体的衰减。医学上应用很多的放射性 Mo—Tc 发生器中 ^{99}Mo—^{99}Tc^{m} 就处于这种平衡。

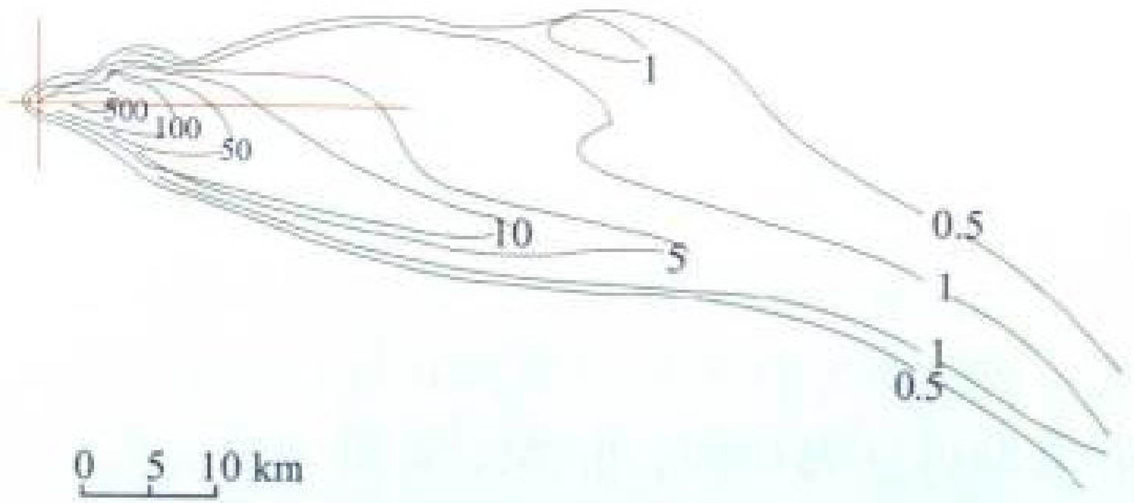


暂时平衡体系中母体的衰变及子体的生长和衰变的情况图

（撰写：张丕禄　审订：郭景儒）

fangshexing zhanran

放射性沾染 radioactive contamination 核爆炸或其他原因产生的放射性微粒对地面、人员、食物和各种物体的沾污以及对空气、水源等的污染，是核爆炸损伤因素之一。引起放射性沾染的放射性微粒的来源主要有三类：核裂变产物、未参与裂变的核装料和感生放射性物质，以裂变产物为主。核裂变产物能放射 γ 射线和 β 粒子，半衰期可从几分之一秒到几百万年；未参与裂变的核装料是 α 辐射体，半衰期在几万年以上；感生放射性物质是核爆炸中子与爆炸周围的土壤、空气和其他物质相互作用产生的放射性同位素。它们放射 β 粒子和 γ 射线，半衰期取决于物质中的元素，一般都较短。放射性沾染范围分为爆心投影点周围几千米内的爆区沾染区（简称爆区），和爆区以外下风方向广大区域的云迹沾染区（简称云迹区）（见图）。形成爆区的放射性物质，地面爆炸时主要是核裂变产物，空中爆炸时主要是感生放射性物质；形成云迹区的物质，不论是地面爆炸还是空中爆炸，都是核裂



地面爆炸时的云迹沾染区（单位：10^{-2} Gy/h）

变产物。放射性沾染程度与武器特性有关，裂变占比例大时就严重，反之就轻。还与爆炸威力有关，更与爆炸高度密切

相关。地面爆炸时，大量地表物质卷入火球，汽化后凝结的较大颗粒较快地降至地面，放射性沾染严重；空中爆炸时，形成的放射性颗粒微小，较长时间飘浮于空中，放射性沾染轻微。（撰写：朱焕金 审订：乔登江）

fangshexing zhanran xiaoying

放射性沾染效应 effects of radioactive contamination 核爆炸形成的放射性微粒对人员、生物和生态环境造成的污染及其损伤作用和效果。其特点是危害作用时间长、范围广和作用途径多样等。放射性微粒在衰变过程中放射出的α、β粒子和γ射线，能直接和间接地对人员和生物造成放射性危害。人员超过一定照射量后会引起急性放射病。伤害途径分为：γ射线直接照射人体引起的γ外照射；吸入污染空气、误食被沾染的食物以及饮用污染水引起的内照射；放射性微粒与皮肤直接接触引起的β烧伤等。裂变核武器地面爆炸引起的放射性危害最为严重，一般以外照射为主，危害程度用总剂量来表示，单位为戈［瑞］。全身一次照射剂量超过0.25 Gy时，血液和造血器官会起变化。核战争中，地面爆炸形成的严重放射性沾染，能有效地杀伤有生力量和迟滞部队行动。一般可用具有遮蔽作用的设施来减轻放射性沾染的危害。（撰写：朱焕金 审订：乔登江）

fangshexing zhongliu

放射性肿瘤 radiogenic neoplasm 因电离辐射作用而诱发的恶性肿瘤。放射性肿瘤包括发生在各器官的癌症（如肺癌、乳腺癌等）、发生于骨组织的骨肉瘤和发生于造血和淋巴组织的白血病、骨髓瘤及恶性淋巴瘤等。辐射诱发的放射性肿瘤是辐射照射对人类最严重的远期危害。近半个世纪辐射流行病学调查证实，在受到一定辐射剂量照射的人群中，人类常见的一些癌症发生率显著地高于未受照人群的基线发生率，如白血病、乳腺癌、骨肉瘤、甲状腺癌、多发性骨髓瘤、肺癌和肝癌等。但基本未见到受照人群中慢性淋巴细胞白血病、子宫颈癌和胆囊癌发生率的增加。放射性肿瘤的人类证据主要来自受到较高剂量照射的人群，如日本广岛和长崎原子弹爆炸受照幸存者、用镭涂描表盘的女工、早期为诊断或治疗目的接受不当的医疗照射人群以及受到氡及其子体照射的铀矿工和其他伴生矿矿工。放射性肿瘤与人类一般的恶性肿瘤在表现、治疗和预后均无区别，这就为放射性肿瘤病因的个体判断带来了困难。近年来，人们推荐计算“病因概率”（probability of causation，简称PC表）判断受照个体发生的癌症来自辐射照射的概率。如计算出某人的病因概率大于50%，该受照人员所得癌症病因很可能源于辐射。我国也制定了相应的判断标准。（撰写：白光 审订：孙世荃）

fangsheyuan

放射源 radioactive source 制作辐射源的任何量的放射性物质。放射源是采用放射性物质制成的辐射源的通称。对于放射性活度较高的放射源，例如用于辐射加工的^{60}Co源，用作放射治疗或无损探伤的放射源，一般习惯称作辐射源。根据密封性能，放射源可分为密封源和非密封源两大类。按其释放射线的类型可分为α源、$β^-$源、正电子源、光子源、韧致辐射源和放射性同位素中子源等。放射源通常制成固体形式，有时也以液体或气体形式使用。此外，放射源根据其使用要求不同，可以做成点状源、线状源、平面源、圆柱状源、环状源、球状源和网状源等（见图）。又可按照用途不同而分为



各种类型的密封放射源

静电消除源、烟雾报警源、穆斯堡尔源、可变能量X射线源和医用放射源等。放射源作为一种高新技术产品在工业、农业、医学、资源、环境、军事、科学研究等领域获得了广泛的应用。（撰写：吕延晓 审订：蔡善钰）

fangsheyuan zhibei jishu

放射源制备技术 techniques of preparation for radioactive sources 制备放射源所采用的工艺或技术。放射源制备技术包括同位素的分离和纯化、源芯制备、源的密封、包装容器的设计和制造以及产品的质量控制等技术。其中，源芯制造和源的焊封是放射源制备基础技术。目前源芯制备的常用技术主要包括电化学工艺（如电镀、自镀、化学镀和分子镀等）、硅酸盐工艺（如陶瓷、搪瓷、玻璃、微球等）和粉末冶金工艺（包括粉末混合、模压、烧结、辊轧、冲切等工序）。有时也使用吸附、离子交换、升华和高分子聚合等工艺。为了严格防止放射性物质的泄漏和弥散，放射源必须可靠密封。早期的密封工艺用过环氧树脂粘结、冷焊和钎焊，现多采用钨极氩弧焊（TIG）。针对某些特殊需求（如材质），放射源还可采用电阻焊、扩散焊、摩擦焊、超声焊、等离子焊、电子束焊和激光焊等技术进行密封。（撰写：吕延晓 审订：蔡善钰）

fangshe zhiliao

放射治疗 radiotherapy 利用电离辐射生物效应进行疾病治疗的方法的总称。根据电离辐射源的不同，可将放射治疗分为放射性核素内照射与外照射治疗（如^{60}Co外照射治疗与^{131}I内照射治疗）、X射线机治疗以及带电粒子加速器治疗（包括电子束、质子束、中子束、负π介子束与其他重离子束治疗）。根据电离辐射的照射方式，又可将放射治疗分为远距离、近距离（包括后装技术应用）以及核素内照射治疗。在临床医学实践中，放射治疗多用于恶性肿瘤的根治、姑息、止痛，以及术前、术中、术后的辅助治疗等。除晚期癌症伴随全身转移或为恶液质外，均可实施放射治疗。目前放射治疗已与肿瘤的手术治疗、化学治疗与加热治疗并列，成为癌症治疗的主要手段之一。（撰写：王荣福 审订：吕延晓）

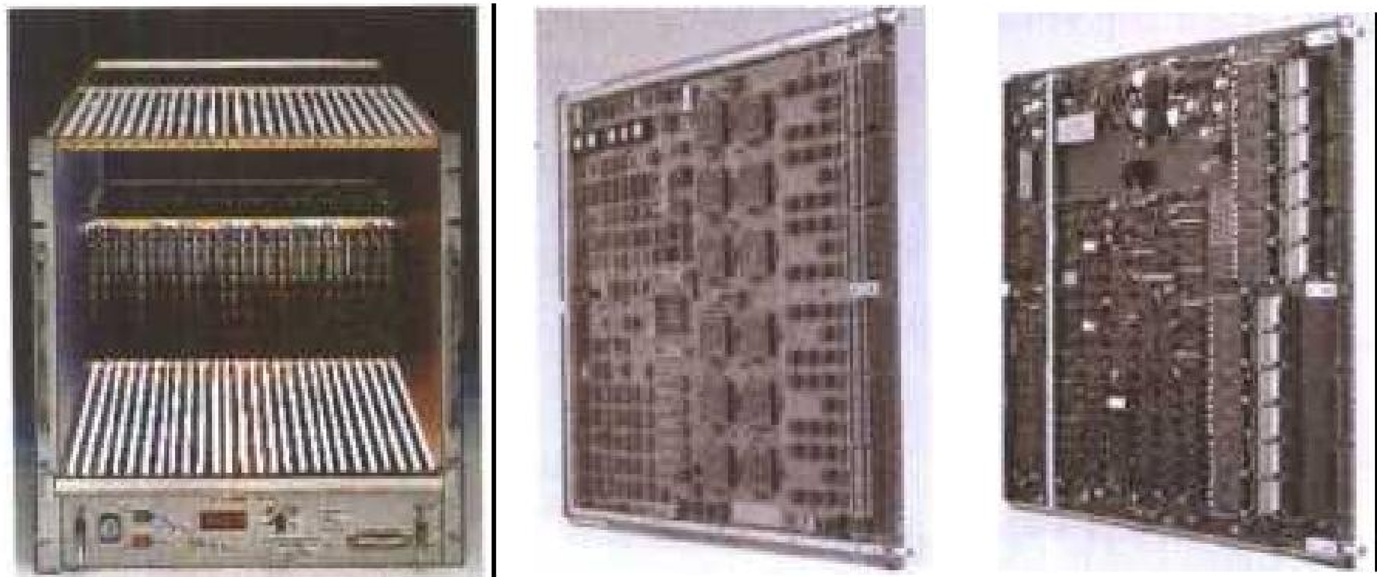
fangshe zixianying

放射自显影 radioautography 利用感光核乳胶或X光胶片记录实物内放射性核素所在位置和数量的一类显影成像的技术。一般包括以下几个环节：向实验动物体内引入放射性示踪剂；制备标本；感光材料敷在标本上曝光、显影、定影，即获得标本的放射自显影图像。自显影像可凭肉眼观察黑影的形状，或通过显微镜或电子显微镜观察黑色颗粒的分布和径迹，从而辨认放射性物质在细胞或组织中的分布。亦可通过

颗粒计数、光密度测量、放射薄层扫描等方法作相对定量测量。放射自显影具有定位精确，灵敏度高，操作简便，可提供定量结果或开展双核素示踪研究等优点。目前已广泛应用于生物学及医学中，以研究生理变化和中间代谢的关系、药物在体内的分布等，还可对动物和人脑受体结合位点的解剖部位进行精确定位，为神经生物学提供了一种很有实用价值的研究手段。 （撰写：王荣福 审订：吕延晓）

FASTBUS biaozhun

FASTBUS标准 FASTBUS standard 一种复杂的数据获取总线，具有强大的数据获取能力。由美国NIM委员会和欧洲核电子学标准化委员会（ESONE）共同制定。FASTBUS标准采用插件化结构，背板采用ECL逻辑电平，标准速度10倍于CAMAC系统。总线具有32位的地址／数据字段，采用多处理器并行结构，可分为多个可独立运作的段，连接在一起来完成数据传输。它的非同步握手式传输能力，使得具有不同传输速度的模块可以工作在同一条总线上；而最大速率的传输则依靠不需要握手的同步传输方式来实现；总线的广播操作，可以同时完成多个模块的初始化、清零等。另外FASTBUS标准还具有特别适用于高能粒子探测系统的轮询



FASTBUS机箱和插件的实物图

结构，能从大量模块中快速扫描稀疏数据。整个系统易于连接到计算机以实现主机的干预或数据的传输。

（撰写：李玉兰 审订：席德明）

feishewu fanghu

飞射物防护 protection against internally generated missiles 对核设施内具有动能并已离开其设计位置的物体（飞射物）的防护。飞射物对安全的破坏作用是由其一次效应、二次效应或两者总和造成的。二次效应是指由于飞射物一次效应的后果而随后发生的所有效应。飞射物防护要针对具体情况采取措施，将飞射物破坏作用的风险减小到可以接受的程度。有三个概率关系到由飞射物破坏作用带来的风险：(1) 产生飞射物的概率 P_1；(2) 击中安全重要靶物的概率 P_2；(3) 产生一次和二次损坏并造成不可接受后果的概率 P_3。由任何一个飞射物事件所造成的不可接受后果的组合概率是 P_1、P_2 和 P_3 的乘积。如果上述概率中的任何一个足够小，那么总的概率就可以接受。因此，最好的设计方法是从实质上消除飞射物的产生，使 P_1 小到可以接受的程度；其次是将重要靶物与飞射物源分隔（距离、方位或屏障），使 P_2 小到可以接受的程度；最后是选择使后果可以接受的方法（多重安全系统的实体分隔、设备采用故障安全原则），使 P_3 小到可以接受的程度。在某些场合下可能需要把三种方法组合使用。

（撰写：俞尔俊 审订：陈叔平）

feichanggui youziyuan

非常规铀资源 unconventional uranium resources 按国际原子能机构的定义，品位很低的、目前尚不具经济意义或者其中的铀仅仅作为次要副产品回收的铀资源视为非常规铀资源（例如磷酸盐类、独居石、煤、褐煤、黑色页岩等）。然而有的国家把铀作为生产磷酸的副产品加以回收，有的国家拥有世界上最大的磷块岩矿床，铀资源量达几百万吨，是一种巨大的潜在铀资源。另外，产于黑色页岩中的铀一般视为非常规铀资源，然而有的国家则将其列为常规铀资源。

（撰写：胡绍康 审订：赵凤民）

feidian fushe yuan

非点[辐射]源 extended source [of radiation] 源的尺寸相对于测量距离来说不能忽视，因而不能视为点源的辐射源。非点源的测量比较复杂，通常需进行立体角、自吸收和反散射等多项修正，且需考虑源的非均匀性。非点源的屏蔽或外照射计算也常不得不借助于大量数据表、曲线或偏保守的经验公式。近年来随着计算机技术的发展，用蒙特卡罗方法进行非点源的计算已日益普遍。辐射测量中常用到的特殊非点源有直线源（简称线源）和平面源（简称面源）。当非点源呈直线分布，且其粗细按其使用目的可以忽略不计时，可以视为直线源。直线源常被用于成像探测装置（例如γ照相机）的空间分辨率检验。充有放射性溶液的管道有时也可以视为线源。当非点源呈平面分布时，称为平面源。平面源常用作表面污染监测仪或表面剂量仪的刻度源。弱贯穿辐射放射性样品也常制成平面源以保证测量精度。 （撰写：胡遵素 审订：潘自强）

fei dianli fushe fanghu

非电离辐射防护 protection against non-ionizing radiation 对非电离辐射的有害效应进行预防、缓解、消除的所有活动。非电离辐射能量较低，小于12 eV，不足以引起物质电离。非电离辐射在生产、生活中广泛存在，如广播、电视、通信、雷达等发射设施，在工业、科学、医疗领域应用的射频设备，应用日益广泛的家用电器等，都在产生非电离辐射。对于应用者来说，非电离辐射是资源，对于公众和其他电器设备，非电离辐射又是一种污染和干扰因素。严重时，会导致公众出现有害的热效应和非热效应，会干扰甚至损毁附近的其他电子器件。因此，对非电离辐射必须注意防护。对有用的电磁辐射要依据信号覆盖地域要求，合理布局，控制功率和频率，调整天线辐射方向，使之既满足应用要求，又控制环境影响。对于使用电磁能的设备，要作好电磁兼容设计，采用电磁污染抑制技术，加强辐射源的屏蔽，降低对环境的影响及系统之间的干扰。对非电离辐射的防护，首先要增加设备的固有安全性。此外，设备的使用者也要知晓非电离辐射性质和必要的防护措施。同时，审管部门要加强管理，实行严格的审批和监督制度。

（撰写：赵亚民 审订：蒋忠涌）

feiguding wuran

非固定污染 non-fixed contamination 又称松散污染。易于从物体表面去除的放射性污染。这种污染一般是由污染物在表面上的沉积和附着造成的。它可以通过简单的物理方法如擦拭、高压水喷射、超声波和化学方法（如用普通去污剂去污）来清除。在轻微污染和人可接近的情况下，可用擦拭或刷洗的方法去污。非固定污染易于造成放射性污染物的扩散和转移，因此是去污过程中更为关心的污染形式。

（撰写：王显德 审订：孙东辉）

feijuyu dianzi rechuandao

非局域电子热传导 nonlocal electronic thermal conductivity 不完全由当地的温度梯度决定的电子热传导。电子热传导通常由当地的电子温度梯度决定，$q_e=-k\nabla T_e$，其中q_e为电子热流，k为热传导系数。该式为局域的Spitzer-härm公式。高功率激光打靶实验表明：局域热传导公式不能解释实验结果，存在反常热传导。理论研究也证明局域热传导公式在临界面附近是失效的，因为那里的温度、密度变化很陡，其尺度已不满足远大于电子碰撞自由程的局域热传导适用的条件。存在多种反常热传导机制，其中重要的一种是非局域电子热传导。归根结底，电子热传导是由电子速度分布函数决定的，一些非局域热传导模型是以某种近似情况下的电子福克—普朗克方程解作为基础的。 （撰写：常铁强 审订：朱少平）

F

feimifeng fangsheyuan

非密封放射源 unsealed radioactive source 放射性物质处于裸露（非密封）状态的放射源，有时又称裸源。非密封放射源一般活度较小，固定于基底材料的活性区牢固程度较高，或不必对活性区进行专门密封处理，通常作为实验室用源。

（撰写：吕延晓 审订：蔡善钰）

feinengdong anquan

非能动安全 passive safety 不依赖外来的触发和动力源，而靠重力、蓄压势、设备承压能力等自然本性来实现安全功能的性能。压水堆核电厂中的安全注射箱和安全壳即为非能动安全设施。借助于可靠电源连续运行来执行安全功能的、在始发事件后不需触发继续起作用的系统，在设计概念上也与非能动安全类似。采用非能动安全可以改进核反应堆的安全性，降低建造成本。一些新型的核电厂设计已更多利用这种特性，如靠重力补水箱自然循环排出余热、靠水分蒸发和自然对流使安全壳冷却和卸压等。

（撰写：俞尔俊 审订：陈叔平）

feinengdong bujian

非能动部件 passive components 无须依靠触发、机械运动或动力源等外部输入即能执行功能的部件。它一般没有活动的组成部分，在感受到压力、温度、流量这类参数的变化后即可执行功能。像爆破膜这类动作或变化不可逆、但十分可靠的部件，也可划入这个类别。非能动部件的故障称非能动故障。非能动部件的例子有：热交换器、管道、容器、电缆和构筑物。但对有些器件，需在对其特性进行专门研究后才能确定它属于非能动部件还是能动部件（参见能动部件）。能动部件与非能动部件本质上依据其可靠性来划分，从而可以作出不同的单一故障假设（参见单一故障准则）。

（撰写：俞尔俊 审订：陈叔平）

feitanxing sanshe

非弹性散射 inelastic scattering 见散射。

Feizhou wuhequ tiaoyue

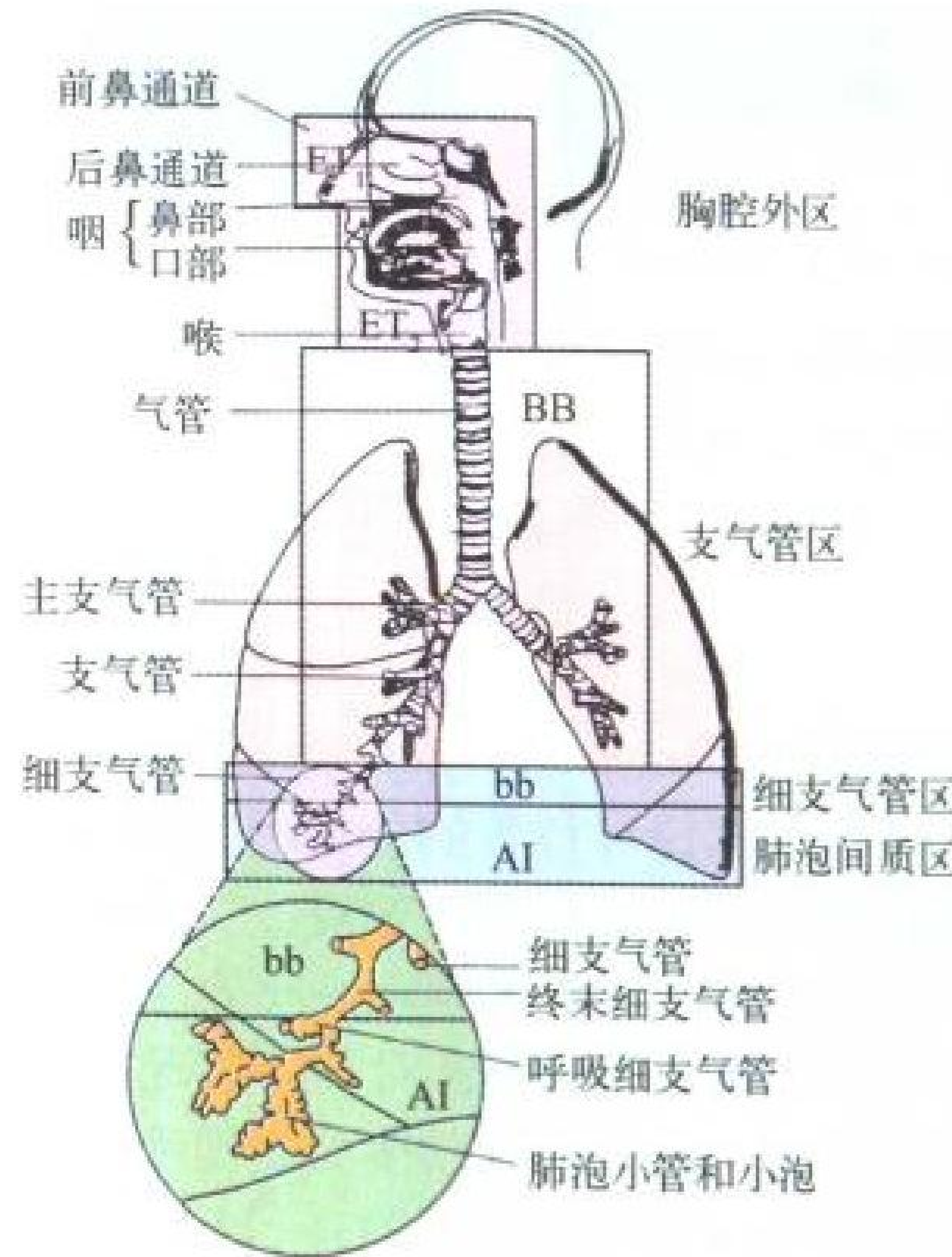
《非洲无核区条约》 Africa Nuclear Free Zone Treaty 1996年4月11日由49个非洲国家的代表在开罗签署，条约无限期有效。非统组织在1964年7月召开的第一届首脑会议上即通过了《非洲非核化宣言》，经过31年的不懈努力，直到1995年在南非的佩林达巴才就缔结《非洲无核区条约》达成协议，故又称《佩林达巴条约》。条约由序言、22条正文、4个附件和3个议定书组成。条约的主要内容是：正式宣布非洲大陆、非统组织成员国的岛屿和非统组织各项决议认为是非洲组成部分的所有岛屿、领海、群岛海域及其领空和海底为无核武器区；各缔约国承诺不研究、发展、制造、贮存、获取、拥有或控制任何核爆炸装置，承诺不试验或部署核爆炸装置；建立非洲核能委员会，并与国际原子能机构缔结全面保障协议；对核材料、设施和设备进行有效保护，承诺不对核设施进行武装攻击。另外，条约第1、第2议定书要求所有核国家承诺不对非洲无核武器区内的国家和领土使用或威胁使用核武器，不在该地区内试验、协助或鼓励试验任何核爆炸装置，第3议定书要求法国和西班牙承诺在非洲领地履行条约有关规定。该条约的签署，使非洲成为继南极洲、拉丁美洲和南太平洋地区之后第4个正式宣布的无核武器区，标志着整个南半球实现了无核化。 （撰写：段占元 审订：唐西生）

feizhuanyihu

非转移弧 nontransfer arc 见电弧等离子体。

fei moxing

肺模型 lung model 为计算吸入的放射性物质在呼吸道内的沉积、廓清及所产生的剂量而提出的数学模型。在改进国际放射防护委员会(ICRP)第30号出版物中推荐的肺模型基础上，ICRP在其第66号出版物中提出的用于辐射防护目的的人呼吸道模型由6部分组成：形态学模型、生理学参数、辐射生物学考虑、沉积模型、廓清模型及剂量计算。形态学模型将呼吸道分为4个解剖学分区（见图）：胸腔外区(ET)、支气管区(BB)、细支气管区(bb)及肺泡间质区(AI)。该模型给出了各类气溶胶粒子在各分区的沉积份额及廓清数据，并根据化合物被血液吸收的速度来划分F，M和S类物质。F类为快速吸收入血物质，其生物半减期约为10 min；M类为中速吸收入血物质，其中90%的物质的生物半减期约为140 d，其余10%的物质快速吸收入血；S类为慢速吸收入血物质，其中99.9%的物质的生物半减期约为7000 d，其余0.1%的物质快速吸收入血。该模型既能用于工作人员，又能用于不同年龄的公众成员，既能用于气溶胶粒子，又能用于放射性气体和蒸气。



呼吸道解剖学分区图

（撰写：周永增 审订：李素云）

feifangsheyuan

废放射源 spent radiation sources 业主预见将来不再使用（不一定别人也不能使用），而可能要长期闲置的拟转移到持有放射性废物处理或处置许可证的单位或回收单位的放射源

（俗称"废源"）。常见的有：由于自然衰变，活度已降到不能满足原应用要求（绝对活度仍可能很大，别的单位还可能可以使用或可回收其中的放射性物质）的放射源；由于密封等损坏（且本单位没有修复能力）而不能安全使用的放射源等。对这类放射源的安全管理，必须与其他所有放射源一样，由业主负责，确保其始终处在合格人员的严密有效的控制之下（包括安全存放、定期盘点和安全检测等）。然而，因其长期闲置，加上有"废源"的习惯俗称，易被直接管理人员误同为一般的工业废品，放弃或放松了对这类源的安全管理，以致被盗或丢失，进而可能发生会造成人员伤亡和环境污染的严重辐射事故。据资料统计，废放射源的被盗或丢失引起的辐射事故，已是当今国际、国内辐射应用中造成公众严重伤亡的最主要的一类事故，引起了国际社会的高度关注。国际原子能机构于1992年开始实施关于放射源的行动计划，以加强对放射源（特别是对废放射源）的管理。其中包括建立有放射源完整档案纪录的数据库；编写培训教材和举办培训班，使更多的放射源持有者了解废放射源的潜在风险和安全管理的内容；开展或建立废放射源的收集、整备、贮存和最终处置的示范活动或设备，以帮助发展中国家。我国对这类源应提倡采取尽量回收、充分利用和尽早转移到持有放射性废物处理或处置许可证的单位的方针。

（撰写：谷存礼　审订：陈　式）

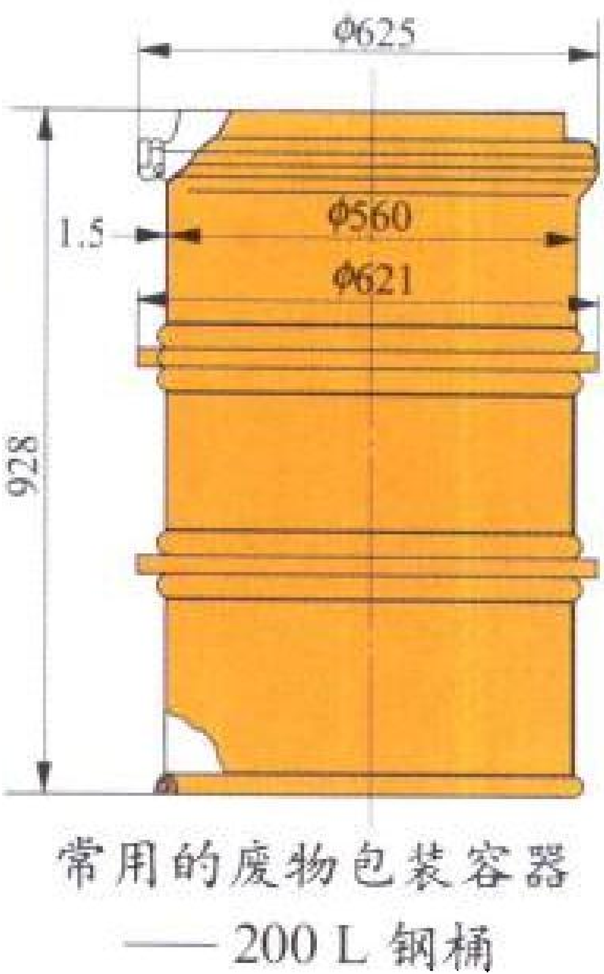
feiwu baorongliang

废物包容量　waste loading　废物固化体中所包容的放射性废物的量。通常用质量分数表示，也有用体积分数表示。废物包容量是评价固化方法的重要参数之一。从经济角度考虑，包容量越大越好。但随着包容量的增加，固化体的其他性能将受到影响，如抗压强度降低，核素浸出率增加。同时，固化体的比活度、表面剂量率、自照射和自释热率均相应提高，乃至影响固化体的长期稳定性。因此，所有固化方法的包容量都有一定限度。在满足固化体处置要求的条件下，包容量的选取要考虑固化基料、固化工艺和固化对象等因素。

（撰写：范显华　审订：罗上庚）

feiwu baozhuang rongqi

废物包装容器　waste container　包装固体放射性废物的容器。通常指包装低、中水平放射性固体废物的容器。各国采用的废物包装容器形式多种多样。近年来，我国制定了废物包装容器系列标准，包括钢桶和钢箱、混凝土桶和混凝土箱等。废物容器应满足运输、贮存和处置的规定，因此要求：(1) 坚固结实，密封性好，能承受堆贮（五层高度）和运输中加速、振动和共振，而不会破坏容器的完整性；(2) 耐腐蚀，抗辐照，在设计规定的贮存期内保持完整，可以回取；(3) 结构便于吊卸和搬运；(4) 外表光滑、平整，不积水、易去污；(5) 废物装载率高，一般不低于90%；(6) 易加工制造，成本适宜；(7) 外表面需有符合标准的标志和编号。废物包装容器必须由有资格的厂商制造。



常用的废物包装容器——200 L 钢桶

（撰写：罗上庚　审订：范显华）

feiwu chuli

废物处理　waste treatment　为了安全和（或）经济目的而改变废物特性的操作。放射性废物处理的基本任务是：(1) 减容；(2) 从废物中去除放射性核素；(3) 改变废物组成。经处理后，废物可以被固定，也可以不被固定，形成一种适当的废物体。通常废物处理的方法有蒸发、离子交换、絮凝沉降、吸附、过滤、焚烧、压实、熔融和固化等。废物处理是放射性废物管理的重要环节，在选择处理方法时，应综合考虑废物管理的其他环节（预处理、整备、处置、贮存和运输）的要求。根据废物的特性，运用优化设计，采用安全、高效、二次废物量少和经济的方法和设备，并考虑资源的回收和利用。


放射性废液蒸发器

（撰写：孙东辉　审订：王显德）

feiwu fangzhi

废物放置　waste emplacement　为处置废物把废物货包堆放在处置库中指定的适当位置。它适用于低中水平放射性废物的近地表处置及高水平放射性废物和α废物的地质处置。低中水平放射性废物货包的堆放应考虑其包装形式和内容物的放射性活度。堆放位置应预先设计，以保持堆放稳定，防止倾倒和坍塌。堆放操作应尽可能减少操作人员的受照剂量。通常稳定性好的和放射性活度高的废物货包放在处置单元下层和（或）中央。货包与货包之间和层与层之间应灌注水泥砂浆或其他填充物，以增强处置单元内废物的整体稳定性。废物堆放时应将每个桶的具体位置记录在案和（或）输入计算机，并备份存档。

（撰写：黄雅文　审订：陈　式）

feiwu fenjian

废物分拣　waste sorting　在处理放射性固体废物时，为了便于进行分类处理，将混杂在一起的放射性废物进行挑拣、分类的过程。如利用辐射监测技术或机械手段，在分拣台上将混合在废物中的非放射性物料分拣出来，或将不同活度水平的废物、可燃与不可燃废物、可压实与不可压实废物分类等，以获得最佳处理效果。如将非放废物分拣出来可减少废物处理、处置量；把可燃废物分拣出来利用焚烧技术处理，可获得大的减容；把可压实废物分拣出来，可采用压实减容处理等。

（撰写：范显华　审订：骆大星）

feiwu guding

废物固定　waste immobilization　通过固化、埋置或包容等手段把放射性废物转化为一种在装卸、运输、贮存和处置时放射性核素迁移或弥散可能性小的废物体的工艺过程。"固化"是指将易流动的废物转化成固体的过程；"埋置"是指在固体废物（如金属部件）间充以基料（如水泥浆、熔融沥青）形成一个废物体的方法；而"包容"是指使弥散性废物（如灰、粉末等）同基料混合形成整块废物体的技术。不同类型的废物应采用不同的固定方法，以制成满足处置要求的废物体。

（撰写：范显华　审订：罗上庚）

feiwu guhua

废物固化 waste solidification 使放射性液体或湿固体(如泥浆)废物转变为固体的工艺过程。通过固化通常形成一种易操作、运输、装卸和物理性能稳定，不易弥散的废物体。水泥固化、沥青固化、聚合物固化和玻璃固化为典型的固化方法。固化技术是目前世界上最广泛用于处理放射性废液的方法。水泥固化、沥青固化和聚合物固化通常用于固化低、中水平的放射性废液、化学泥浆、蒸残液和废树脂等。玻璃固化主要用于固化高水平放射性废液。目前，仍以水泥固化用得最多，但它有增容和核素浸出率较高等不足，正在改进中。玻璃固化不仅用于固化高放废液，也向固化低、中放废物发展。一种名为冷坩埚固化技术正迅速发展起来。该技术具有设备腐蚀率低、固化体品质好、固化对象适应范围宽等特点，有广泛的应用前景。 (撰写：范显华 审订：罗上庚)

F

feiwu guhuati

废物固化体 waste form 易流动或易弥散的放射性废物经固化处理转变成的整块性的固态废物体。这种转化可通过放射性物料掺入水泥、沥青、聚合物或玻璃等基材中实现，与此相对应的产物称为水泥固化体、沥青固化体、聚合物固化体或玻璃固化体。放射性废物固化的主要目的是使放射性核素进入人类生活环境的可能性降至最低限度。因此要求固化体应有好的化学稳定性、热稳定性、机械稳定性和辐照稳定性。固化体包容的放射性核素的数量和种类不同，对固化体性能的要求也不同。对中、低放废物固化体的性能要求相对低些，而对高放废物固化体的要求则很高。

(撰写：汤宝龙 审订：罗上庚)

feiwu huobao

废物货包 waste package 又称废物包装体。由废物体和包装容器组成的组合体。必要时，废物货包内可增加吸附材料以吸收游离液体，或增加屏蔽层以降低货包的表面剂量率。作为废物货包一部分的废物体是包装前通过处理和(或)整备所形成的具备物理、化学和辐照稳定性的固体物。根据废物体的特性和对废物货包运行工况的要求，可选择不同的包装容器以保证废物货包的安全。废物货包必须满足装卸、运输、贮存和处置的废物接受准则规定的要求。

(撰写：冯声涛 审订：黄雅文 孙东辉)

feiwu jianrong

废物减容 volume reduction of waste 减小放射性废物体积的过程。为了尽可能减小被处置废物的体积，在放射性废物处置前，应进行减容处理，以尽量减小废物的体积。常用的减容处理工艺有焚烧、压实和固化等方法，如可燃废物或有机废液的焚烧或热解燃烧，可压实固体废物的压实减容，低、中水平放射性废液的沥青固化和聚合物固化，高放废液的玻璃固化等均有不同程度的减容(水泥固化中、低放废液通常是增容过程)。由于焚烧减容因数大，所以可燃性废物最好作焚烧处理。但焚烧炉建设投资和运行费用大，尾气净化要求高。压实减容虽然减容因数不很高，但操作简单，费用较低，所以使用广泛。 (撰写：范显华 审订：骆大星)

feiwu jieshou zhunze

废物接受准则 waste acceptance criteria 废物贮存、运输和处置时，判断废物可接受性所依据的准则。废物接受准则由审管机构制定，或者由废物接受单位制定而经审管机构批准。废物接受准则应由废物产生单位和废物接受单位共同遵守执行。废物接受准则是根据辐射防护要求和环境保护要求、按接受单位具体条件确定，包括废物中放射性核素种类和含量、表面剂量率、表面污染水平、废物体的稳定性、抗浸出性、耐辐照性、耐热性、游离液体量、是否存在易爆炸物质和腐蚀性物质以及包装类型、包装编号与标识等。此外，废物接受准则还包括废物接受程序和废物档案记录等。

(撰写：冯声涛 审订：黄雅文)

feiwu yashi

废物压实 waste compaction 利用外力对放射性废物进行挤压，使物料间和物料内部的空隙减少，以减小废物的体积和外形尺寸的过程。废物压实对象主要是可压实的低、中放固体废物。废物压实是借助外力使废物密实化，提高废物的整体密度。可压实的废物种类很多，除棉、纸、布、橡胶、塑料等软质废物外，用高压压实机对木质、玻璃、金属制品，如污染的器皿、工具、风管、混凝土散块等也可施行压实减容。



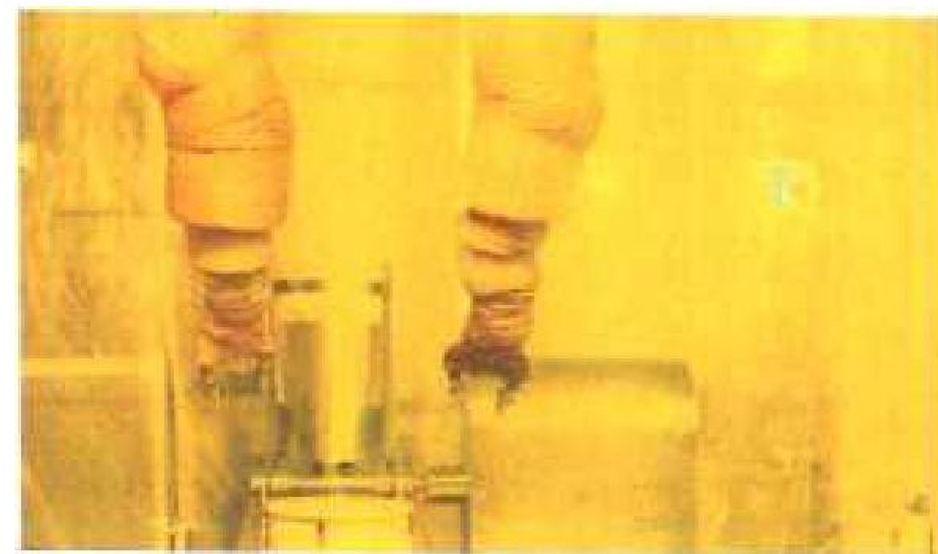
法国SGN公司废物压实机

压实机的种类很多，从操作方式来分，有桶内压实和连桶压实(压实后再装桶或装箱)；有固定式和车载可移动式；从压头压力来分，有低压(10^5～10^6N)、中压(10^6～5×10^6N)、高压(5×10^6～10^7N)和超级压实机(10^7N以上)。一般情况，低压和中压压实机多用于废物产生现场，超级压实机多用于废物处理中心、多堆电厂或废物处置场。废物压实处理的优点是：设备简单、运行方便、费用低。不足之处是：减容系数较小(2～10)，不改变废物可燃、热解、腐烂等本性。

(撰写：杜洪铭 审订：罗上庚)

feiwu yuchuli

废物预处理 waste pretreatment 废物处理前所进行的工作，如：废物收集、废物分类、化学调制、去污等。废物预处理可能去除或减少需进一步处理和处置的废物，如把豁免物料分出，去除表面污染等；它能使废物适于下一步的处理操作，如液体废物调节pH或酸碱度；在固体废物中把可燃性废物和不可燃废物分开，把可压实废物和不可压实废物分开等，它可使废物减少或消除某些潜在的危害作用，如把爆炸性、强腐蚀性废物分出等。



在热室中用机械手对废物进行分类

(撰写：罗上庚 审订：范显华)

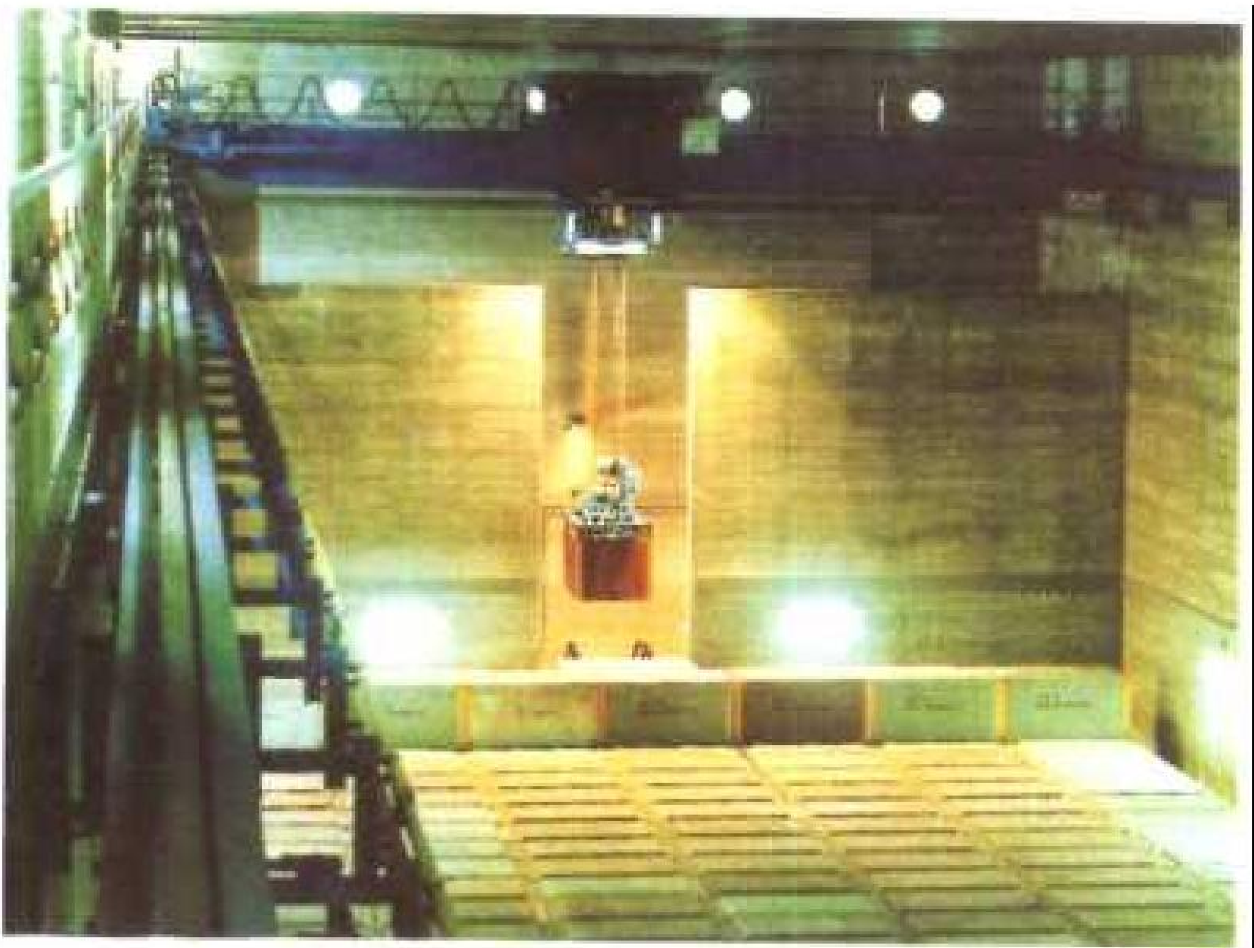
feiwu zhengbei

废物整备 waste conditioning 为了使放射性废物形成一个适于装卸、运输、贮存或处置的货包而进行的操作。整备可能包括将废物转变成固体形式，封装在容器中，还包括必要时提供外包装。整备是为废物进行最终处置目的，满足装卸、运输、暂时贮存要求而对废物进行的一系列处理。如把放射性废液、湿固体废物和弥散性固体废物（如焚烧灰等）转变成性能指标满足处置要求的整块性固化体，并将它们封装在适当的容器中，必要时还加上屏蔽容器，使其表面剂量率和表面污染水平符合审管部门的规定要求。

（撰写：范显华　审订：罗上庚）

feiwu zhucun

废物贮存 waste storage 把放射性废物放置在能提供隔离、环境保护、有人为控制（如监督）并能回取废物的核设施中。废物贮存的目的是：(1) 作中间贮存，暂时存放一段时间等待进一步的处理、整备或处置；(2) 经过贮存衰变，降低废物的放射性水平，以便后续的处理、整备、处置或运输；(3) 对于放射性水平低、核素半衰期短的废物，通过贮存衰变达到清洁解控水平后，经审管部门认可，可作一般废物处理或处置。废物贮存方式包括湿法贮存和干法贮存两类。贮存库的设计和运行应保证废物在贮存期间内的安全和可回取。

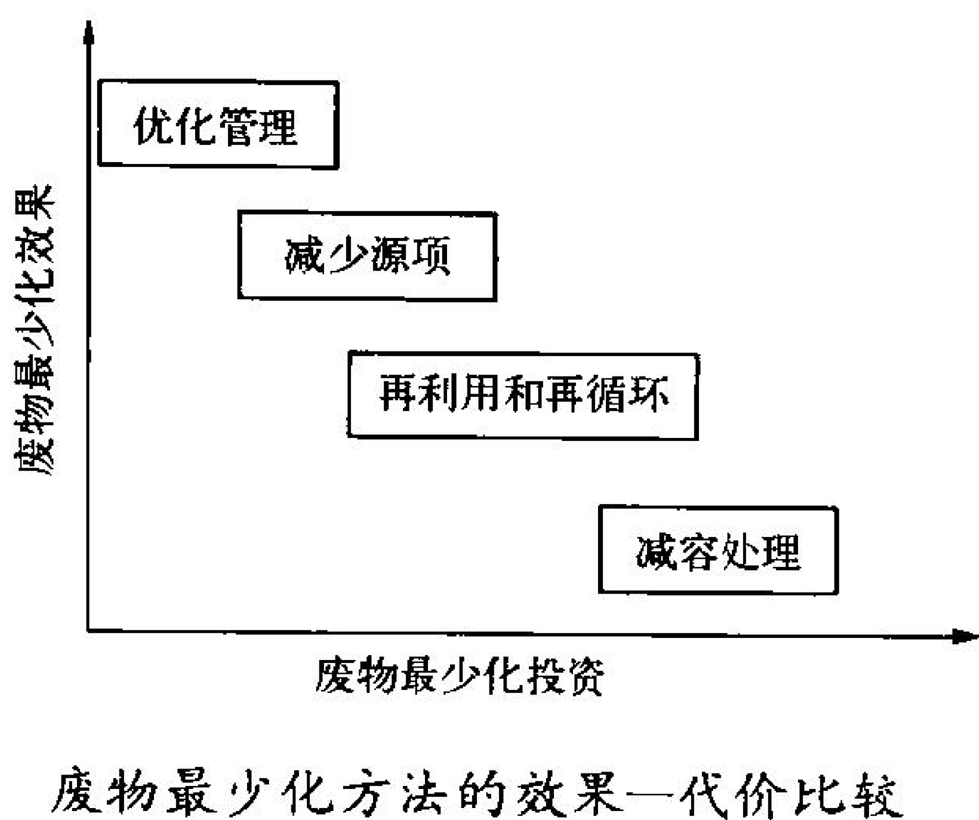


低、中放废物贮存库

（撰写：孙东辉　审订：王显德）

feiwu zuishaohua

废物最少化 waste minimization 废物的体积和重量合理可达到的最少，废物中放射性核素含量合理可达到的最少。废物最少化是放射性废物管理九大基本原则之一。废物最少化的意义是十分重大的，如：(1) 保护人类健康和环境，有重要环境效益和社会效益，有利于核事业的可持续发展；(2) 减少企业处理和处置废物的负担，有重要经济效益；(3) 促进文明生产和管理水平的提高。废物最少化是整体管理水平和安全文化素养提高的结果。它始于核设施的设计，终于核设施的退役，涉及废物的整个生命周期过程。实现废物最少化有许多措施，可分为四大类：(1) 优化管理；(2) 减少源项；(3) 再利用和再循环；(4) 减容处理。对四大方法进行代价—利益分析比较，如图所示，可以看出，优化管理是首选措施。

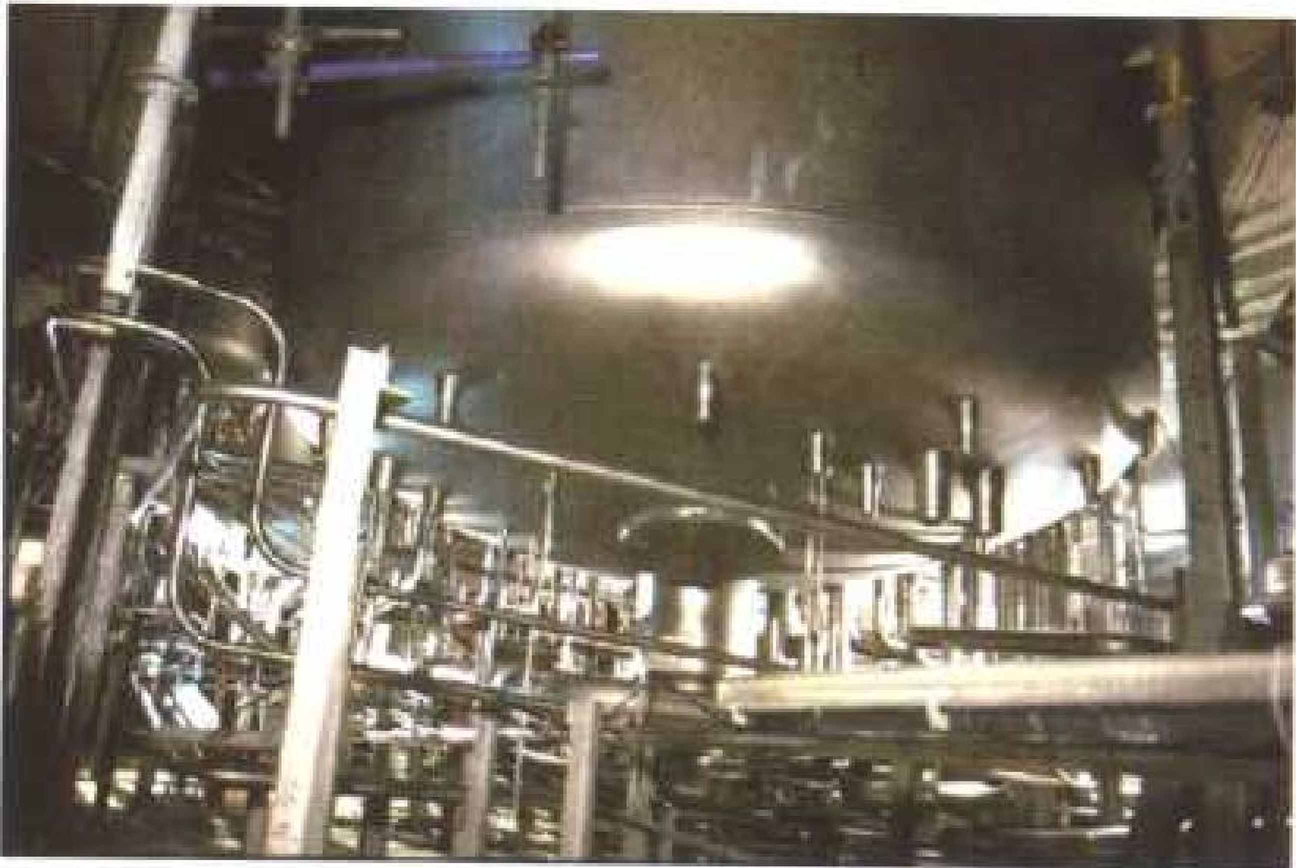


废物最少化方法的效果—代价比较

（撰写：罗上庚　审订：潘自强）

feiye zhucao

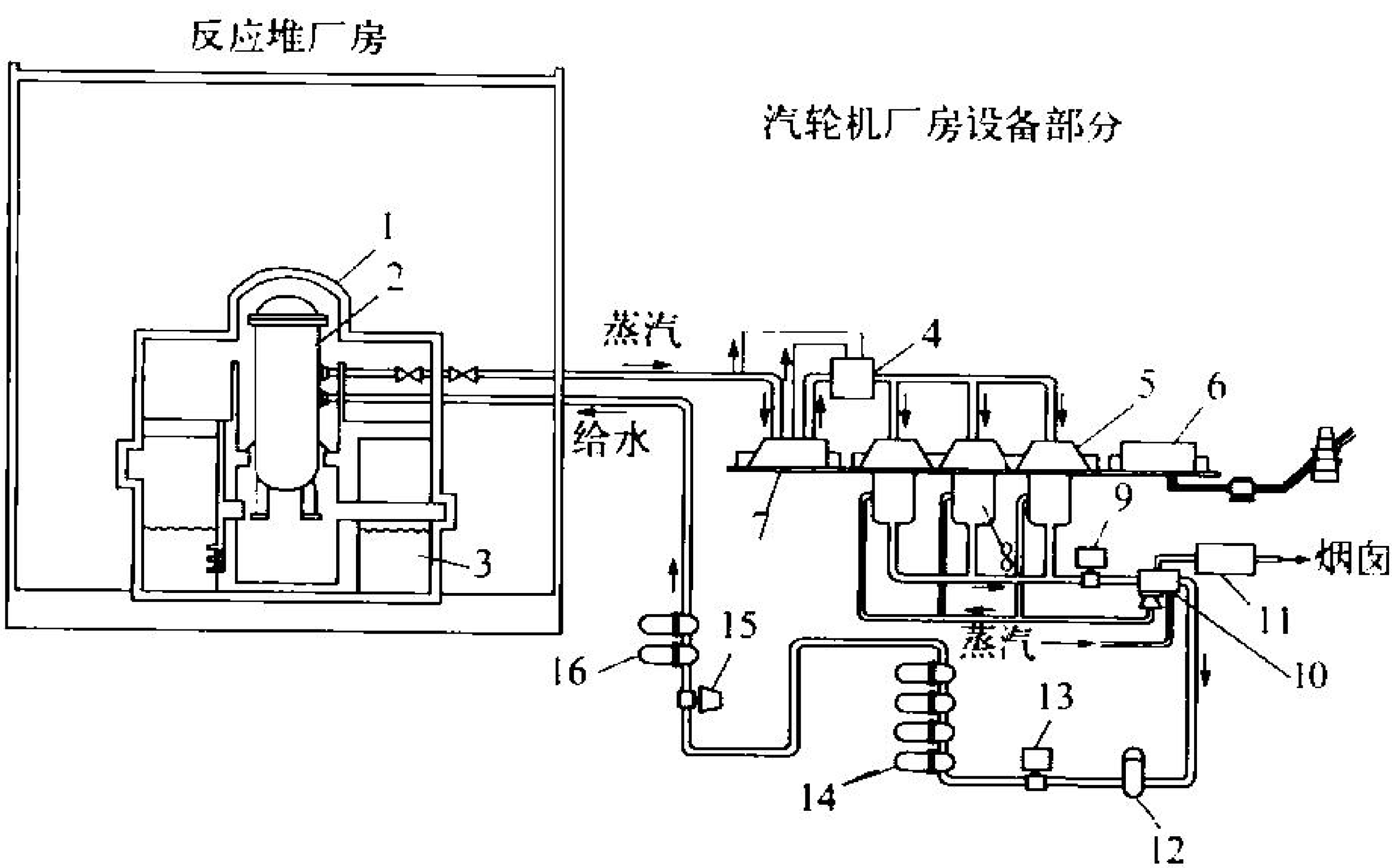
废液贮槽 liquid waste storage tank 贮存放射性废液的槽、罐（见图）。为了防止废液贮槽出现泄漏，导致废物中的放射性核素和有害物直接进入环境，或通过土壤、地下水迁移进入环境，造成危害，对放射性废液贮槽的设计、制造和安装有严格的要求。例如要采用耐蚀材料，设计成双壁容器或设有收集渗漏液的托盘，设置防漏和检漏措施和必要的液位、压力、温度和酸度等仪表；要有资质证明的焊工进行焊接操作并需通过严格焊缝检验。对高放废液贮槽还应有冷却、搅拌、防爆和临界安全措施。（撰写：孙东辉　审订：王显德）



高放废液贮槽

feishuidui hedongli zhuangzhi

沸水堆核动力装置 BWR nuclear power unit 以沸水堆为热源的核动力装置（见图）。它的动力回路系统采用核蒸汽直接循环，即反应堆产生的蒸汽经干燥后直接送往汽轮机。蒸汽在汽轮机做功后由凝汽器凝结成水，经过凝结水泵、加热器



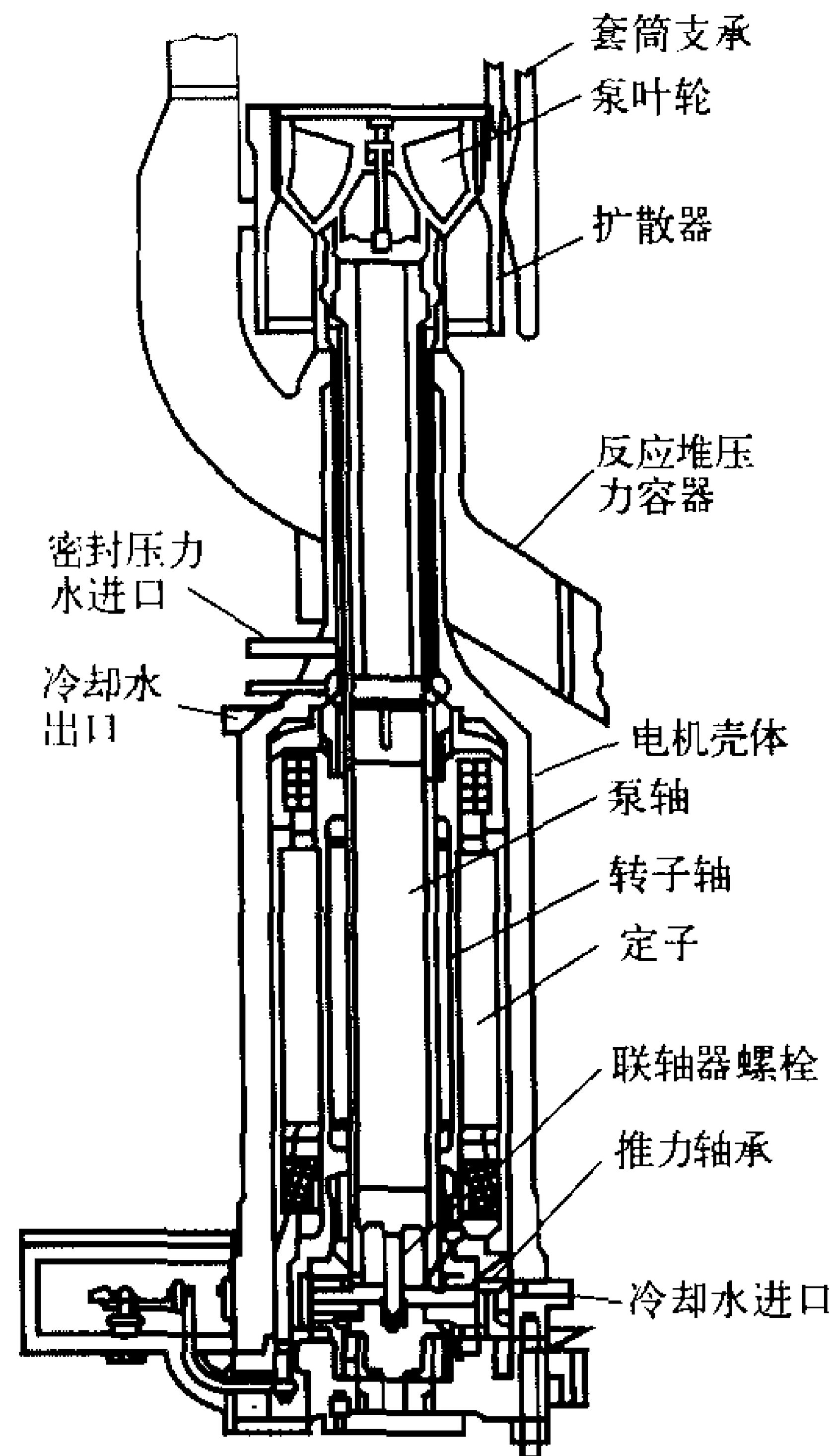
ABWR 沸水堆核动力装置流程原理图

1—安全壳；2—反应堆压力容器；3—消压水池；4—汽水分离再热器；5—低压缸；6—发电机；7—高压缸；8—凝汽器；9—低压凝结水泵；10—蒸汽喷射抽气器；11—排气系统；12—凝结水净化系统；13—高压凝结水泵；14—低压给水加热器；15—给水泵；16—高压给水加热器

等，再由给水泵送回反应堆内。最新成功设计建造的先进型沸水堆（ABWR）有如下改进措施：(1) 单堆功率输出提高到1350 MW；(2) 堆芯中采用高燃耗和高性能核燃料组件；(3) 轴向分区富集度使功率分布更为均匀；(4) 采用电力和水力联合驱动的新型控制棒驱动机构；(5) 堆内设置内置式再循环泵；(6) 取消了大口径冷却剂管道；(7) 在安全壳内的布置更加紧凑。　（撰写：杜圣华　审订：张维忠）

feishuidui neizhibeng

沸水堆内置泵 BWR internal pump　构成沸水堆冷却剂回路、置于沸水堆压力容器内部的循环泵。早期的沸水堆用装于压力容器内的喷射泵加外部的再循环泵构成冷却剂的回路。在20世纪80年代后期发展的先进沸水堆中，改为采用装在压力容器内部的轴流式叶片泵作为冷却剂循环泵（见图）。其泵轴穿过压力容器底部，水泵的叶轮位于容器之内，驱动机构则位于容器外。各种功率的反应堆均采用同一规格的泵，泵的数量视反应堆电功率而定，一般每150 MW配一台1200 kW的泵。这种完全内部循环的方式可获得更高的效率。同时，由于取消了外部再循环管道，使反应堆更加安全、可靠。　（撰写：吴明　审订：左民）

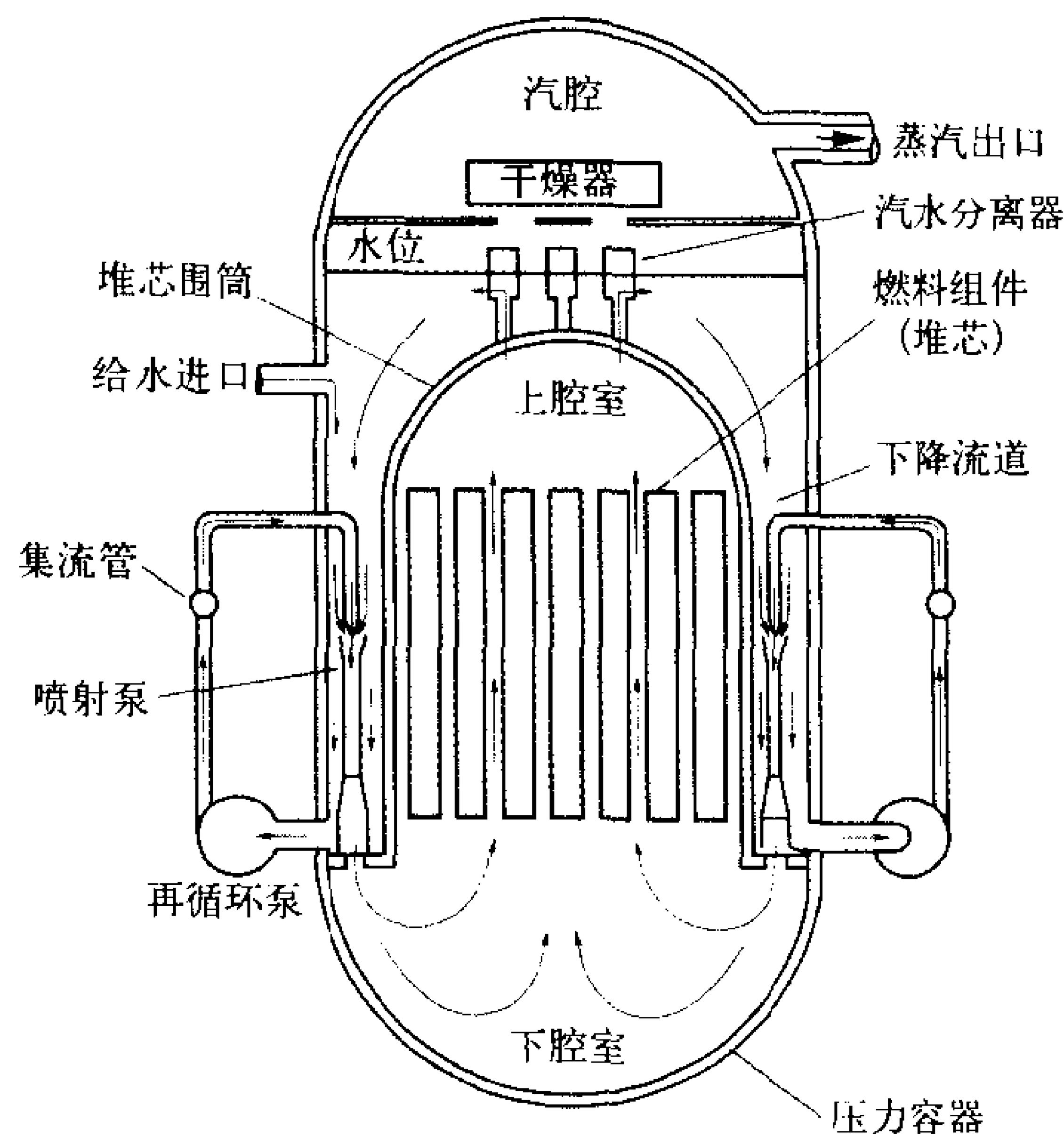


沸水堆内置泵结构示意图

feishui fanyingdui

沸水反应堆 boiling water reactor (BWR)　以沸腾轻水为慢化剂和冷却剂并在反应堆压力容器内直接产生饱和蒸汽的发电用核反应堆，简称沸水堆（见图）。沸水堆与压水堆同属轻水堆，都有结构紧凑、安全可靠、造价较低的优点；也都需要使用低富集铀，且需停堆换料。沸水堆有利之处是：(1) 直接供汽给汽轮机，省去蒸汽发生器这一中间环节和大直径环路管道，使系统简化；(2) 发生事故后自然循环能力较强，且能从堆芯上方直接喷淋注水，降低了燃料烧毁的概率；(3) 借改变流量来调节功率，比较方便灵活。不利之处是：(1) 蒸汽含有^{16}N及气态裂变产物（在有燃料棒破损情况下）的放射性，污染汽轮机系统，带来运行和维修的困难；(2) 堆芯功率密度仅相当于压水堆的一半，体积较大，因此压力容器也比较大而且重，造成制造和运输的困难；(3) 控制棒从反应堆底部插入，在丧失电源时不能靠重力自动插入堆芯，其驱动机构比较复杂，并要求它高度可靠。沸水堆的发展趋向是增加安全裕度、简化操作以及取消堆外再循环环路，代之以堆内循环泵，以进一步简化系统，降低事故概率。

（撰写：连培生　审订：陈叔平）



沸水反应堆结构示意图

feimi nianling lilun

费密年龄理论 Fermi age theory　描述有限介质内中子在慢化过程中的空间—能量分布的一种理论。该理论主要基于三个假设：(1) 中子慢化过程可以用它们的平均过程来描述；(2) 每次碰撞中子能量损失很小；(3) 扩散理论对所有能量都适用。该理论不适用于含氢慢化剂、轻核介质以及强吸收介质。费密年龄 τ 的物理意义为中子从进入系统的地点（年龄为零）到获得该年龄的地点的直线飞行距离均方值的六分之一。　（撰写：薛小刚　审订：史永谦　许汉铭）

fei

镄 fermium　一种人工放射性元素，化学符号Fm，原子序数100，属锕系元素。因纪念著名的意大利物理学家E.费密而命名。镄是美国A.吉奥索等从1952年氢弹试验后的沉降物中发现的。热核爆炸瞬间形成极高的中子注量率，使^{238}U连续17次俘获中子并经过一系列β^-衰变，最终获得半衰期为20.1 h的^{255}Fm。镄原子的电子构型是(Rn) $5f^{12}6d^07s^2$，氧化态为+2，+3，在水溶液中主要以+3氧化态存在。^{257}Fm是半衰期最长的同位素(100.5 d)。镄可以通过氦、铍、碳、氧、氖等离子轰击重元素靶和用反应堆中子长时间照射钚或更重的超钚元素等方式合成。

（撰写：徐鸿桂　修订：罗文宗　审订：崔安智）

fenbian shijian

分辨时间 resolving time　能分别记录的两事件间的最短时间，即可以把两事件看成是符合的最大时间间隔，是符合测量系统中的一个重要参量，一般用 τ 来表示。在符合系统中，两输入端粒子入射时刻虽然不同，但它们所产生信号脉冲的时间间隔小于或等于某一个数值 τ 时，仍被符合电路看做是"同时"的，从而输出符合信号。只有当两输入端产生信号的时间间隔大于 τ 时，它们才能被符合电路鉴别为"不同时事件"，而不输出符合信号。

（撰写：王学武　审订：席德明）

fenceng bengluofa

分层崩落法 topslicing method　采场分层自上而下回采，每分层回采完毕后，进行人工落顶，形成人工假顶，下分层的回采在上分层形成的假顶的保护下进行的铀矿开采方法。我国铀矿山应用该法较多，并创造了脉外采准、金属网及金属

支架、手扶电耙出矿以及预留风沟采场通风等技术。所谓预留风沟是在进路铺底前，在进路上埋木质通风预留沟并与脉外天井连通，利用矿井总风压进行工作面通风，基本上解决了采场防氡问题。　　（撰写：王昌汉　审订：李开文）

fenge

分割　cutting　核设施退役时用锯片、炸药或其他方法将设备、大构件等分割成小尺寸部分的过程。根据不同的对象，目前已开发了多种分割技术，约可分为三类：(1) 机械类，如各种锯、剪切机和破碎机等；(2) 热能类，如电弧锯、等离子切割机和铝热剂反应喷枪等；(3) 其他类，如高压水力切割，激光切割和爆破分割等。分割时会产生碎片、灰尘、烟尘和气溶胶。对分割工作人员应重视辐射防护和工业安全保护。工作场所需适当地封隔和通风，以免污染扩散。对机械切割产生的碎片和气溶胶应用高效微粒空气过滤器或真空吸尘器过滤或收集。对热加工产生细屑、热颗粒、气溶胶情况下还需要安装预过滤器。　　（撰写：王显德　审订：孙东辉）

fenli danyuan

分离单元　separative element　能完成一次分离过程的单个分离装置，是组成同位素生产级联中分离级的基本单元。如一台扩散机器、一台高速离心机、一台激光分离器、一定直径的蒸馏塔等。分离级可以由一个分离单元组成（如气体扩散法），也可以由多个分离单元组成。

（撰写：蒋同远　审订：刘广钧）

fenligong

分离功　separative work　分离单元、分离级乃至分离工厂分离能力的度量。分离功用分离功率（参见分离功率和分离功单位）定量表示。分离功是表示一段时间内分离功率的总和。它是进行分离单元的性能研究、级联设计和工厂经济分析的目标函数。研究它与分离单元的物理参量和运行参量的相互关系，进行参数优化以便得到最佳工作参量，从而提高分离单元的分离效率。在给定生产任务后，即已知产品的产量和丰度，并设定了合适的尾料丰度后，就可估算完成该生产任务所需的分离功，也可估计需要的分离设备和时间。

（撰写：蒋同远　审订：刘广钧）

fenligong danwei

分离功单位　separative work unit　分离功率的定义为 $\delta U=PV(C_P)+WV(C_W)-FV(C_F)$，式中 P，W，F 分别代表分离单元的精料、贫料和供料流量，价值函数 $V(C)$ 是无量纲量。所以分离功率的量纲与质量流量相同，但它并不是质量流量，为了区别特加注“分离功单位”，英文缩写 SWU。在时间单位上习惯取“年”作为单位时间。写作千克分离功单位/年（kgSWU/a），或吨分离功单位/年（t SWU/a）。在分离铀同位素时，工作介质多用 UF_6。为了区别质量流量是 UF_6 流量还是折合为U的流量，所以又有（UF_6）kgSWU/a和（U）kgSWU/a之分。目前所用的分离功单位都取铀的质量流量，直接写成 kgSWU/a。如果是 UF_6 质量流量要特别注明。

（撰写：蒋同远　审订：刘广钧）

fenli gonglü

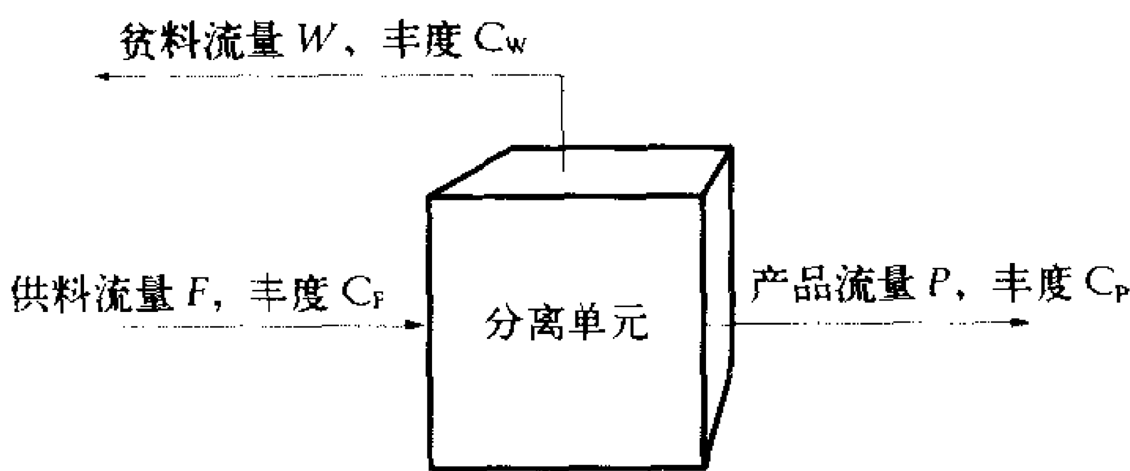
分离功率　separative power　一个分离单元或一个分离级联在单位时间所能提供的分离能力的度量。它等于定常态下一定量的同位素混合物通过分离系统输出流相对于输入流的价值增率，即单位时间内输出的同位素混合物价值总和与输入的同位素混合物价值之差，用符号 δU 表示

$$\delta U = PV(C_P)+WV(C_W)-FV(C_F)$$

符号的意义标在图上。$V(C)$ 是单位质量同位素的价值（参见价值函数），它只决定于混合物中的同位素丰度C。价值函数的通用形式是

$$V(C)=(2C-1)\ln\frac{C}{1-C}$$

它是一个无量纲量。由价值函数导出的分离功率 δU 只与分离装置的性能参数有关。

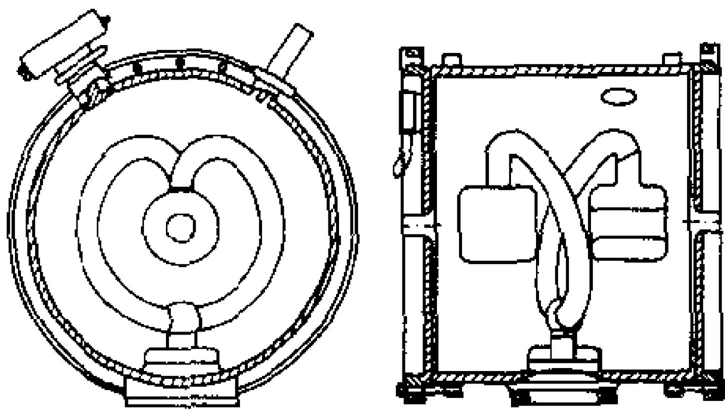


分离单元输入流与输出流符号

（撰写：蒋同远　审订：刘广钧）

fenli huanqiang

分离环腔　split ring resonator (SLR)　离子直线加速腔。其剖视结构如图所示。它是由两个起着二分之一波长谐振线作用的平面螺线在根部联接而成的复合结构，两条螺线离开一定距离呈分离的环状而得名。工作时相邻的两漂移管呈反相高电位，因而与两端板上处于地电位的两个漂移管分别形成3个加速间隙，所以加速效率较平面螺线腔提高约一倍。对不同离子种类和能量范围的适应性则有所降低，但它的适应性仍然比较强。它在20世纪70年代中期较平面螺线腔稍晚点出现，可以说是同类原理的加速腔，有关特性参见平面螺线腔。但分离环腔一开始即以超导腔出现，也是现在常用的加速腔之一。



分离环腔

（撰写：方家训　审订：关遐令）

fenliji

分离级　separation stage　级联中工作在用同样丰度供料并生产同样丰度的浓缩产品的一组分离单元。

（撰写：蒋同远　审订：刘广钧）

fenlimo

分离膜　barrier　由多孔材料制成的、用于实现 $^{235}UF_6$ 与 $^{238}UF_6$ 气体扩散分离的基本元件。为了实现铀同位素的分离，分离膜必须具备以下特性：(1) 分离膜上微孔的孔径分布应尽可能集中，其平均孔径必须远远小于膜前六氟化铀气体分子运动的平均自由程；(2) 单位面积分离膜上的微孔数量应足够多，以保证穿过分离膜的气体的流量；(3) 分离膜的厚度应尽

可能薄，同时又要求分离膜具有足够的承压能力；(4) 分离膜材料应能抵抗六氟化铀气体的腐蚀，确保分离膜上微孔不被堵塞。
（撰写：谢庄应　审订：应纯同）

fenlimo de shentoulü

分离膜的渗透率　permeability of barrier　单位时间穿过分离膜的气体分子数与单位时间碰撞分离膜表面的分子数的比值。它是表征分离膜通过气体的能力的重要物理量。分离膜渗透率是一个无量纲的量，它反映出碰撞分离膜表面的气体分子通过分离膜的概率。分离膜渗透率 γ 是由分离膜本身结构特性所决定，包括分离膜微孔孔径分布状态、平均孔径、单位面积的微孔数、微孔结构状态以及分离膜厚度等多种因素。影响渗透率的物理量有气体分子量、温度，还有分离膜前后气体压力的平均值 $\bar{p}$，γ 随着 $\bar{p}$ 的增高呈线性增加。
（撰写：谢庄应　审订：应纯同）

fenlimo xiaolü

分离膜效率　efficiency of barrier　在膜前气体混合充分且穿过分离膜的气体流量、膜后压力均足够小的前提条件下，同位素气体通过分离膜所获得的浓缩因子与理想浓缩因子之比值。它是表征分离膜分离性能的重要物理量。分离膜效率是一个无量纲的量。在分离介质及膜前压力给定条件下，分离膜效率的高低取决于分离膜结构特性，与微孔平均孔径、孔径分布状态、微孔结构及分离膜厚度等因素相关。分离膜效率是影响扩散机单级浓缩系数的重要参量，为此在分离膜的研制过程中均不断改进分离膜制造工艺来提高分离膜效率，双层分离膜的应用就是这种改进的成功范例。
（撰写：谢庄应　审订：应纯同）

fenlishan huixuan jiasuqi

分离扇回旋加速器　separate fan cyclotron　见等时性回旋加速器。

fenli shanbian

分离—嬗变　partitioning–transmutation (P-T)　从后处理的高放废液中，经过化学分离提取出长寿命的锕系元素和长寿命的裂变产物，随后在合适的反应堆或加速器中进行核反应，使这些长寿命的放射性核素转变成短寿命的放射性核素或稳定核素的化学与物理过程。分离—嬗变是获得洁净核能必不可少的一个重要环节。目前尚在研究之中。
（撰写：胡景炘　审订：朱永睿）

fenli yinzi

分离因子　separation factor　表示两种物质经过分离操作之后所达到的相互分离程度。两种物质的分离总是将两种物质共存的体系分成至少两部分，如萃取中的有机相和水相，沉淀分离中的沉淀和上清液，离子交换中的树脂相和淋洗液。分离因子 α 表示两种物质 A, B 在分离操作后，Ⅰ, Ⅱ 两部分中相对含量之比，用下式表示

$$\alpha = \frac{[A]_{I}/[B]_{I}}{[A]_{II}/[B]_{II}}$$

在用萃取法和离子交换法分离时，分离因子就是 A, B 两物质分配比 D 的比值 $\alpha = D_A/D_B$。习惯上将分配比大的放在分子上，因此 α 值大于 1。分离因子也表示经过多单元的分离流程后 A, B 两物质的分离程度，在这种情况下上式中的 Ⅰ, Ⅱ 的含义就变成原料和产品。
（撰写：郭景儒　审订：崔安智）

fenliubi

分流比　cut　分离单元输出的精料流量 P 与输入的供料流量 F 之比值称分流比，用符号 θ 表示。这样输出的精料流量 $P = \theta F$，输出的贫料流量 $W = (1-\theta)F$。分流比 θ 的值，(1) 由级联的联接方式决定，例如双管道联接的扩散级联（即精料送入下一级入口而贫料返回前一级入口），$\theta \approx 1/2$；(2) 根据分离器和级联设计来选取合适的 θ 值，同一级联中各分离单元可具有相同的 θ 值，也可能用 2 个或几个不同的 θ 值。
（撰写：蒋同远　审订：应纯同）

fenlu zukang

分路阻抗　shunt impedance　加速结构单位长度分路阻抗的简称，表征加速结构将高频功率转化为加速场强效率的一个重要参量。其表达式为 $Z_s = E_0^2/P$，式中 Z_s 为分路阻抗（单位为 MΩ/m），E_0 为加速结构轴上平均电场，P 为加速结构单位长度上的高频功率损耗。因此，Z_s 反映了在给定高频功率损耗下，加速结构建立多高电场的能力。Z_s 决定于结构的几何形状、尺寸、材料性能及加工状况，还取决于所用的工作模式。不论是加速腔结构的选型，或是工作模式的选取，或是材料的选用，首先都要考虑分路阻抗，因为它直接影响加速器造价。造价与分路阻抗成反比，在获得同样加速粒子能量下，分路阻抗愈大，所需高频功率就愈少，加速器也就可以做得愈短，造价也就愈低。
（撰写：罗紫华　审订：王传英）

fenpei xishu

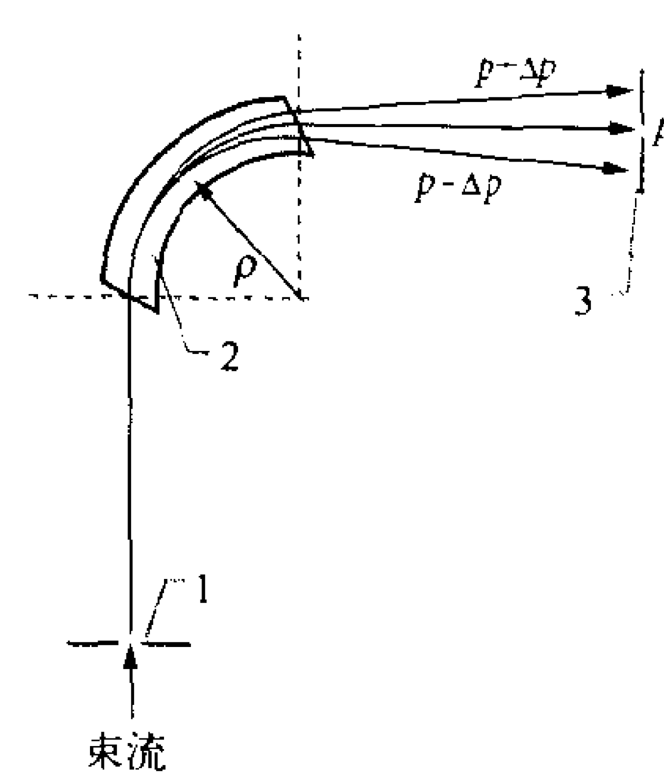
分配系数　distribution coefficient　放射性核素在固相与液相中的分布达到平衡后，该放射性核素在固相中的比活度 C_S (Bq/kg) 与液相中的体积放射性活度浓度 C_L (Bq/m³) 之比值，一般用 K_d 表示如下

$$K_d = \frac{C_S}{C_L}$$

分配系数有时也称为分布系数。其值取决于放射性核素的化学状态和许多参数，诸如 pH 值，水和固体介质的化学性质等。分配系数可以用示踪技术进行实地测量，但技术上尚不完善。目前 K_d 通常用实验室方法测量。
（撰写：张永兴　审订：陈竹舟）

fenxi citie

分析磁铁　analyzing magnet　加速器束流输运线上一种利用静磁场对带电粒子进行动量分析的设备，又称磁分析器。其结构及工作原理如图所示。带电粒子通过分析磁铁时，其动量 p 与磁感应强度 B 的关系为：$p = ZeB\rho$，其中 ρ 为偏转半径。带有相同电荷的离子，只要动量相同，就会有相同的偏转半径。所以，分析磁铁是一种动量分析器。一个



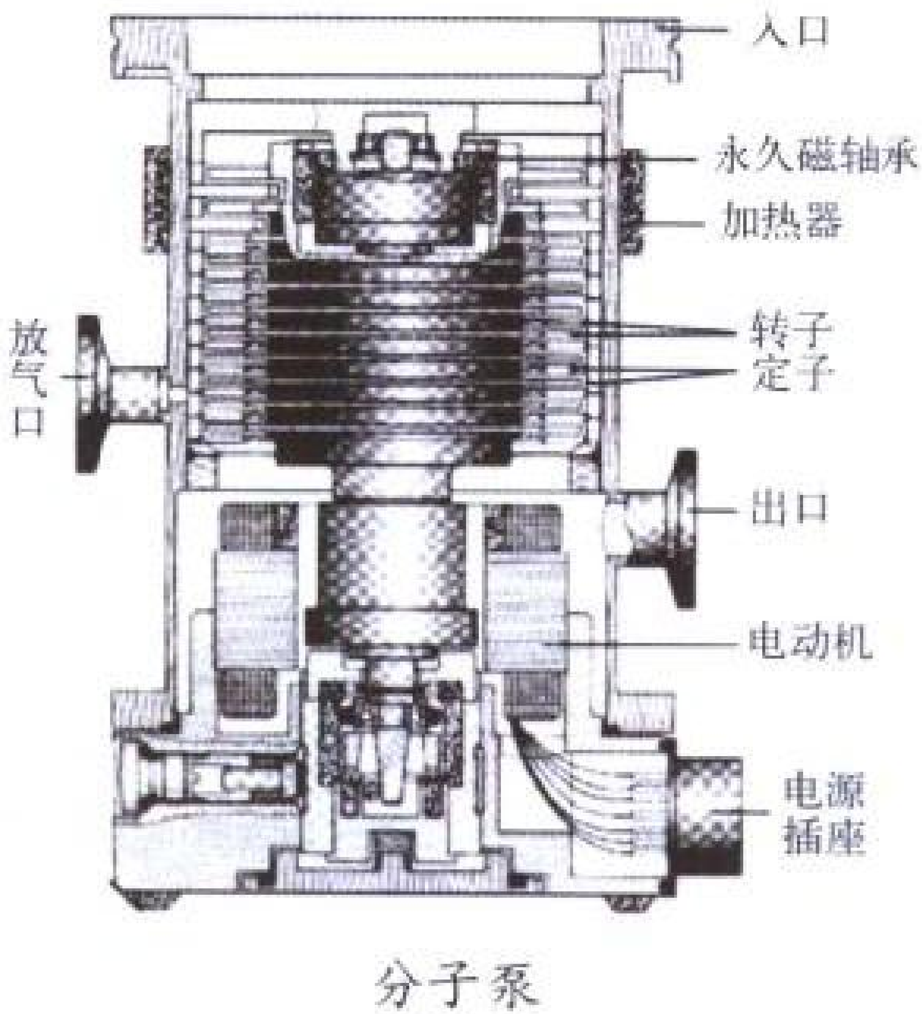
分析磁铁示意图
1—物缝；2—磁极面；3—像缝

楔形分析磁铁只在它的偏转平面上有聚焦作用和色散作用，在它的非偏转平面上则没有聚焦作用和色散作用。为了在两个平面上都获得聚焦，必须在磁铁的入口与出口设置适当的极面倾角，形成双聚焦特性。一个高质量的分析磁铁，对于铁材料及加工精度和电源的稳定度都要求很高。

（撰写：杨丙凡　审订：关遐令）

fenzibeng

分子泵 molecular pump 利用高速旋转物体对碰撞于其表面的气体分子传输动量的切向分量所发生的牵引作用，使出口与入口间产生压强差，从而在入口处建立起较低压强的真空泵。分子泵工作于分子流条件下，通常需在其出口通过前级泵将被抽气体排至大气。其转子或定子带截面向出口渐减的槽或螺旋槽且转子与定子间隙极小的分子泵又称分子牵引泵；其转子与定子为开斜槽圆盘或带倾斜角叶片的叶轮，而转子与定子间隙稍大的分子泵又称涡轮分子泵。涡轮分子泵有卧式和立式两种，为近代真空技术中获得高真空和超高真空所常用。图为立式涡轮分子泵的结构图。



分子泵

（撰写：陈文奎　审订：关遐令）

fenziliu

分子流 molecular flow 又称克努森（Knudsen）流。气体在极低压强下通过圆形毛细管、其流动规律遵循克努森定律的流动。通过毛细管的流量 G 为

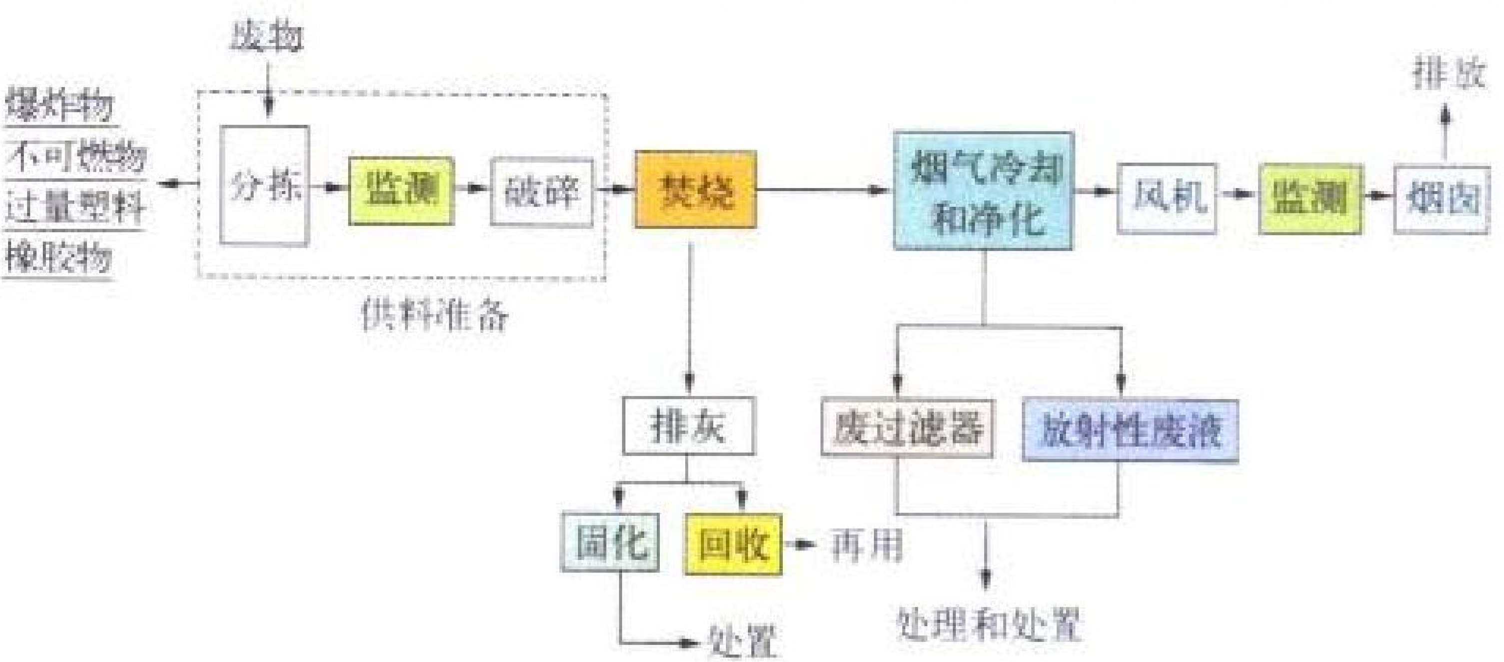
$$G=\frac{8}{3}\pi a^3\frac{1}{\sqrt{2\pi MRT}}\left(-\frac{\mathrm{d}p}{\mathrm{d}x}\right)$$

式中 a 为毛细管孔半径，M 是气体相对分子质量，R 是气体普适常数，T是绝对温度，$\frac{\mathrm{d}p}{\mathrm{d}x}$ 是沿毛细管长度的压强梯度。分子流的主要特点是其流量与相对分子质量M 的平方根成反比。如果一双组分气体M_1和M_2，$(M_1<M_2)$混合物在分子流状态下通过毛细管，则较轻的气体分子M_1在相同条件下，其流量要大于重分子。这就是气体扩散法分离同位素基础。分子流成立的条件为：气体分子的平均自由程要远远大于毛细管孔径。气体通过毛细管时主要是分子与管壁的碰撞，分子之间的相互碰撞可以忽略。

（撰写：蒋同远　审订：应纯同）

fenshao

焚烧 incineration 利用专门设计的焚烧炉处理可燃性废物的技术。许多放射性废物是可燃的，如防护衣具、擦纸、拖布、台布、过滤器芯、活性炭、石墨、废树脂、废机油、切削机冷却油、废有机溶剂、实验动物尸体等。放射性废物焚烧将可燃性废物氧化处理成灰烬或残渣。对于低放射性水平的可燃性废物，焚烧是常用和有效的减容技术。焚烧处理的优点有：(1) 高度减容和减重（减少到1/10～1/100）；(2) 使废物无机化，免除热分解、腐烂、发酵和着火等隐患；(3) 可回收铀、钚等有用物质。放射性废物的焚烧要求采用专门设计的焚烧炉，应有适当的防护措施和完善的尾气净化系统。焚烧炉的安全和有效运行，取决于精心设计、可靠的工艺设备、正确的操作和必要的监测。所获得的减容效果受制约于焚烧废物的组成和燃烧的完全程度。当今由于人们高度重视废物的减容，焚烧技术得到较广泛应用。

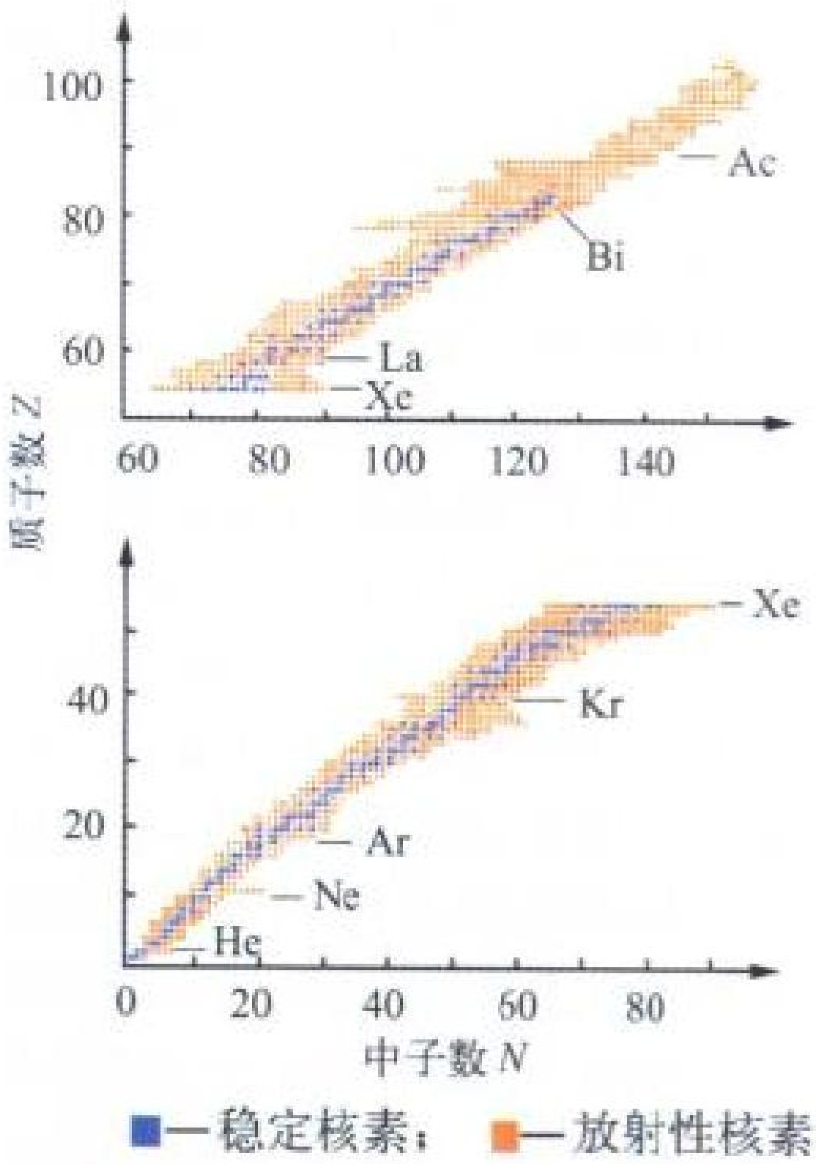


焚烧工艺流程示意图

（撰写：罗上庚　审订：范显华）

fengzhongzi hesu

丰中子核素 neutron-rich nuclide 某核素与其在质子数对中子数坐标系中β稳定带上的同位素相比，核素内的中子与质子的比值高于β稳定带上同位素的中子与质子的比值，这种核素称丰中子核素。各种核素可按其质子数（Z）与中子数（N）绘制成核素图（见图）。稳定核素在核素图上中子数与质子数的比值（N/Z）分布在一个狭长的有限范围内。丰中子核素的中子数与质子数的比值高于这个范围，原子核内中子数相对过多，多余的中子会转变成质子，同时放出 β^- 粒子和反中微子。因此这类核素发生 β^-衰变。丰中子核素主要利用核反应堆制备，是目前生产量最大，用途最为广泛的一类放射性核素。



核素图

（撰写：吕延晓　审订：卢玉楷）

fengbi

封闭 seal 在高放废物和α废物的地质处置中以及中低放废物的岩洞处置中，当放射性废物货包在处置巷道、竖井、筒仓和处置孔等处置区内放满后使废物货包与外界隔离的一种作业。有的处置巷道较长，在巷道的合适位置安装隔墙，使已完成处置部分的空间与运行部分的空间分隔开；在岩洞处置中的洞口封堵操作等也属于封闭作业。封闭作业的结果是在废物货包与外界环境之间建立起一道工程屏障。该屏障的目的在于隔绝废物，并防止水渗入处置区，或防止放射性核素从处置区迁移出来。封闭作业的主要内容是制作一个密封体，密封体本身材料不但要有非常低的渗透率，而且要保证与巷道、竖井等接触界面有很强的黏结力。可用的密封材料有碎石与水泥浆或黏土的混合物；天然材料有膨胀黏土、沥青、火

山灰和细碎玄武岩；合成材料有水泥、石灰浆和燃料灰。许多密封方案都是综合使用这些材料。为了保证密封体与封闭区之间有良好的接触和牢固的黏结，密封时要修整或清理，必要时要扩大封闭区的巷道、竖井和孔洞，以创造较好的封闭条件。封闭是对处置场局部处置区进行的活动。

（撰写：谷存礼　审订：陈　式）

fengbi guidao

封闭轨道　closed orbit　在许多圆形和环形加速器的磁场中都存在着一个中心平面。磁场对该平面是上下对称的，此平面称为对称平面。一般讲来，他同两个磁面之间的几何中心平面是一致的，在磁对称平面上只有磁场的轴向分量，而径向分量和方位角分量为零。一个在该平面上具有确定能量的粒子在磁场力作用下的轨迹是一个封闭的轨迹，称之为封闭轨道。回旋加速器的封闭轨道是一组半径不断增大的同心圆，能量越高，半径越大。电子回旋加速器的封闭轨道是一组相切于一点的圆，切点即为加速间隙。同步加速器的封闭轨道是一条由固定半径的圆弧段与直线段组合的环形跑道式轨迹，在同步加速器中，磁铁的磁感应强度是随粒子能量增加而增加的，从而保持粒子的轨道半径不变。在加速器中，一个确定的粒子的实际稳定运动轨迹是围绕它的封闭轨道的振荡。

（撰写：陈佳洱　审订：王传英）

F

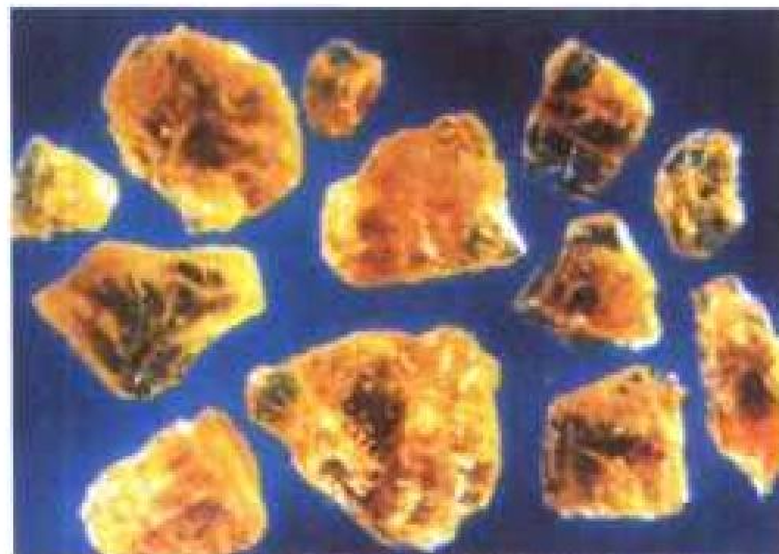
fululuokesi fa

弗鲁罗克斯法　Fluorox process　一种不用昂贵的F_2，就能将UO_3转化为UF_6的工艺过程。过程分两阶段进行：(1) UO_3与返回的UO_2F_2的还原与氢氟化，转化为UF_4；(2) UF_4的高温氧化反应。UF_4与O_2在约1000 ℃下氧化为UF_6和UO_2F_2：$2UF_4+O_2 \longrightarrow UF_6+UO_2F_2$。生成的$UF_6$被凝华收集，同时产生的$UO_2F_2$返回进行还原氢氟化。本工艺的特色在于以$UF_4$的高温氧化反应来取代$UF_4$的氟化反应。但在试验中发现存在三个主要的技术难题：(1) UF_6的直接理论产率仅为50%，可产生的UO_2F_2仍需返回，而试验中UF_6的实际直接产率仅为理论产率的40%～60%；(2) UF_4氧化反应所需高温导致反应器腐蚀严重；(3)高温导致床内UF_4物料的严重烧结。尽管采取UO_2F_2稀释床料以降低UF_4的烧结，以固体铂系金属催化剂催化UF_4氧化反应，降低反应温度等措施，也仅能有局部的改善。因而从事该法研究的主要国家已相继终止了继续研究的计划。

（撰写：崔秉懿　审订：朱永赌）

furong youkuang

芙蓉铀矿　furongite　含水的铝铀酰磷酸盐，化学式为$Al_2(UO_2)(PO_4)_2(OH)_2\cdot 8H_2O$，该矿物发现于我国湖南省。三斜晶系，晶体呈板状；集合体呈扇状。颜色为鲜黄色—柠檬黄色、条痕白色，半透明，解理沿{111}完全，性脆，相对密度2.8～2.9，在紫外光照射下发浅黄绿色荧光，二轴晶负光性。折光率：N_g=1.570～1.575，N_m=1.564～1.567，N_p= 1.543～1.549。光轴角$2V$ = 65°～80°。芙蓉铀矿产于下寒武系黑色碳质页岩淋积型铀矿床的氧化带中，与钙铀云母、绿磷铝石、蛋白石、褐铁矿等共生。



芙蓉铀矿集合体

（撰写：赵凤民　审订：胡绍康）

fuhua huifafa

氟化挥发法　fluoride volatility process　采用氟（或含氟试剂）在高温下与乏燃料元件进行氟化反应，利用UF_6和PuF_6高度挥发性和大部分裂变产物的氟化物难挥发的特性，回收U，Pu并使之与裂变产物进行化学分离的工艺过程。它是乏燃料干法后处理的一种方法。与水法后处理相比，氟化挥发法的优点是：(1)可处理冷却期很短的乏燃料；(2)不产生大量的放射性废液；(3)发生临界事故的风险较水法流程要小；(4)产品为UF_6，可直接用于同位素浓缩。氟化挥发法的缺点是：(1)净化效果较差；(2)设备腐蚀严重；(3)设备维修和遥控操作比较困难。

（撰写：胡景炘　审订：郑华铃）

fuhuake jiguang qudongqi

氟化氪激光驱动器　KrF laser driver　作为惯性约束聚变驱动源的氟化氪激光装置。利用该装置与含有氘—氚材料的靶丸相互作用，实现热核聚变。氟化氪(KrF)激光是一种准分子气体激光，与固体激光相比，它波长短(248 nm)、与靶等离子体耦合效率高；频带宽，采用ISI（诱导空间非相干）平滑技术，使靶表面照射均匀，有利于直接驱动；效率高，可重复频率运转。因此，它是惯性约束聚变激光驱动器的主要候选者之一。利用电子束抽运组成的角多路传输MOPA系统已获得数千焦耳、数纳秒脉冲宽度的KrF激光能量，并且可定标到更高能量。

（撰写：王孝君　审订：单玉生）

fuhuo

俘获　capture　原子核获得粒子的过程。原子核俘获一个粒子并发射瞬发γ射线的过程称为辐射俘获，放出的γ辐射称为俘获γ辐射。一般来说，辐射俘获反应机制与入射粒子能量有关。当入射粒子能量低于大约5 MeV时，辐射俘获主要是复合核反应，γ射线是复合核由高激发态向低激发态跃迁时发射的。随着入射粒子能量增加，复合核反应过程将让位于直接反应过程，入射核子直接被靶核俘获在一个未填满的单粒子束缚态上，立刻将一部分激发能以γ射线形式放出来。此外，当入射核子被靶核吸收后激发起靶核物质的集体运动，这种集体运动激发态退激发时放出γ射线的过程称为巨共振辐射俘获。在核反应堆中，中子辐射俘获是一个重要反应过程。

（撰写：申庆彪　审订：许谨诚）

fuhe dianlu

符合电路　coincidence circuit　两路或多路输入脉冲在时间上有互相覆盖部分时才产生输出信号的电路。在核辐射测量中，用于选择同时或相关发生的事件。符合电路在逻辑上与一般数字电路的"与"门相似，但它带有信号成形电路，可接受核辐射探测器送来的随机模拟脉冲。符合电路的分辨时间决定于各路输入脉冲的成形宽度。

（撰写：倪建平　审订：席德明）

fudu shangsheng shijian buchang zhenbieqi

幅度上升时间补偿甄别器　amplitude rise time compensated (ARC) discriminator　既能消除幅度变化引起的时间游动，又能消除上升时间变化引起的时间游动的定时甄别电路。例如在核仪器中用大体积同轴锗（锂）探测器测定粒子入射时间时，输出信号幅度和上升时间变化范围都较大，需用ARC定时。

（撰写：刘　杰　审订：席德明）

fudu zhenbieqi

幅度甄别器 amplitude discriminator 按幅度来鉴别输入模拟脉冲的电路。它的功能是当输入信号的幅度低于某一给定值时，没有输出信号；而超过这一给定值时，就输出一个一定幅度的信号。上述给定值称为甄别阈或阈值。输入或输出信号可以是电压信号也可以是电流信号，输出脉冲的幅度和波形则是一定的。幅度甄别器可用来甄别掉幅度小于甄别阈的信号、干扰和噪声。幅度甄别器的主要特性指标包括：甄别值、甄别阈的线性和稳定度、阈值涨落、最小信号宽度、最高工作频率等。（撰写：倪建平 审订：席德明）

fujie zuoyong

辐解作用 radiolysis 简称辐解。电离辐射引起化合物的分解作用，电离辐射作用于化合物时，生成激发分子、正离子和次级电子。它们又分别经不同的反应途径生成自由基或新的离子或比原化合物分子小的分子产物。辐解作用是核废物贮存和处置过程中必须考虑的重要现象。例如：废 TBP 在贮存中由于辐解而生成难于处理的界面污染物；废树脂和沥青固化体由于辐解而产生 H_2, CH_4；废包壳水泥固化由于辐解而产生 H_2 等燃爆性气体；高放废物在地质处置条件下，辐解产物与入侵地下水作用生成盐，它们可能通过还原或络合反应影响放射性核素（如裂变产物和锕系元素）的迁移过程，从而对近场环境造成影响。也有研究指出，水辐解产生的 O_2 和 H_2O_2 可导致乏燃料元件的氧化和溶解。

（撰写：范显华 审订：罗上庚）

fushe ba xueshuo

辐射靶学说 radiation target theory 认为在细胞内至少存在一个对辐射作用特别敏感的区域，称其为“靶”，只有当射线粒子击中靶时，细胞才会出现损伤效应，且细胞放射敏感性高低，取决于靶的大小的一种理论。靶的物质基础是细胞核内的 DNA 和 DNP（核蛋白）。若细胞内只有一个靶，且被击中一次便出现损伤效应（如细胞死亡），称之为单击一单靶模型，其数学表达式为 $S/S_0=e^{-kD}$，S_0 和 S 分别代表细胞受 D 剂量照射前、后的存活率，k 为靶大小，k 等于 D_{37} 的倒数。所谓 D_{37} 是指能使 $S=0.37S_0$ 的照射剂量，单击一单靶模型的剂量—效应曲线呈指数形（见图 1 a）；若细胞内有 n 个靶，且每个靶至少被击中一次才能杀灭细胞，称为单击一多靶模型，其数学表达式为 $S/S_0=1-(1-e^{-kD})^n$，D 较大时，公式接近于 $S/S_0=ne^{-kD}$，单击一多靶模型的剂量一效应曲线呈 S 形（见图 1 b）。在高剂量范围，存活率 S 的对数值与剂量呈直线关系，在低剂量范围，曲线有“肩区”（见图 2）。直线部分的斜率倒数为 D_0 值，称为细胞平均致死剂量。直线外推与纵坐标的交点所得外推数 n，代表靶数量。外推线与 S_0 的水平线相交点在横坐标上的投影 D_q 称为准阈剂量。D_q 是指克服肩区所需要的剂量，代表细胞累积亚致死损伤的能力。

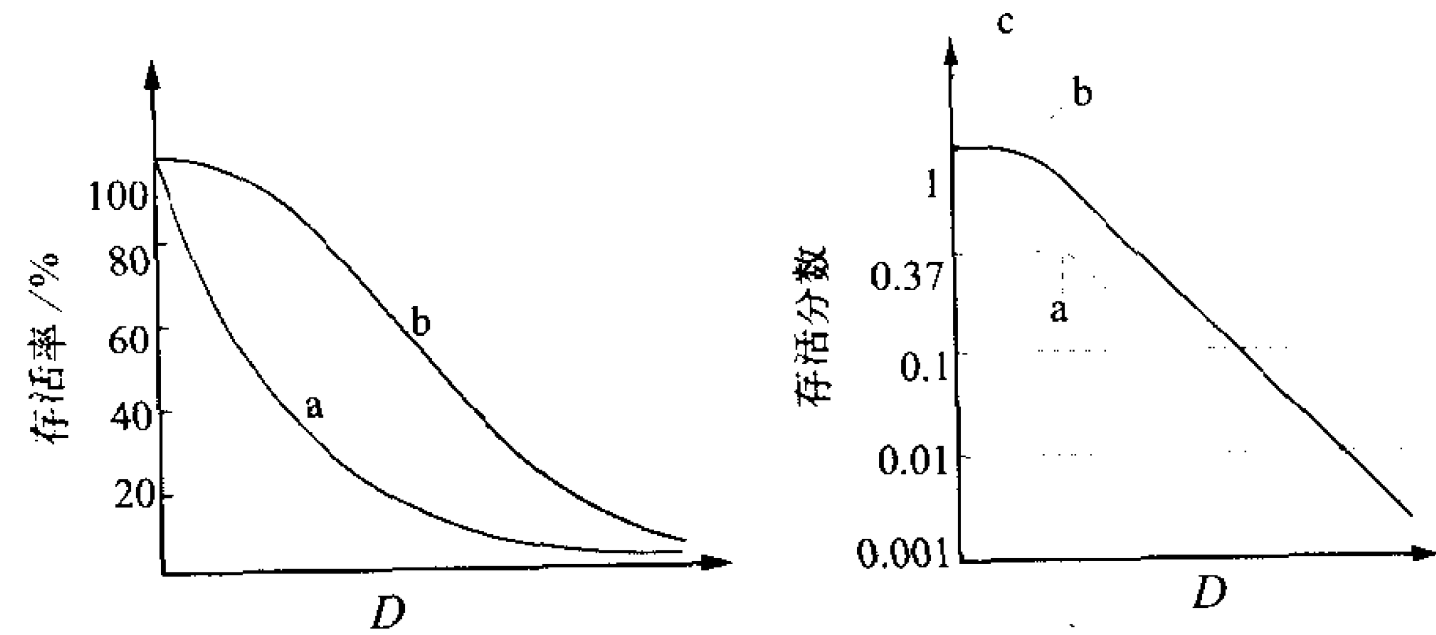


图 1 单击的剂量效应曲线
a —指数形曲线；b —S 形曲线

图 2 “S”形曲线取对数对剂量作图
a—D_0；b—D_q；c—n

（撰写：江家贵 审订：苏燎原）

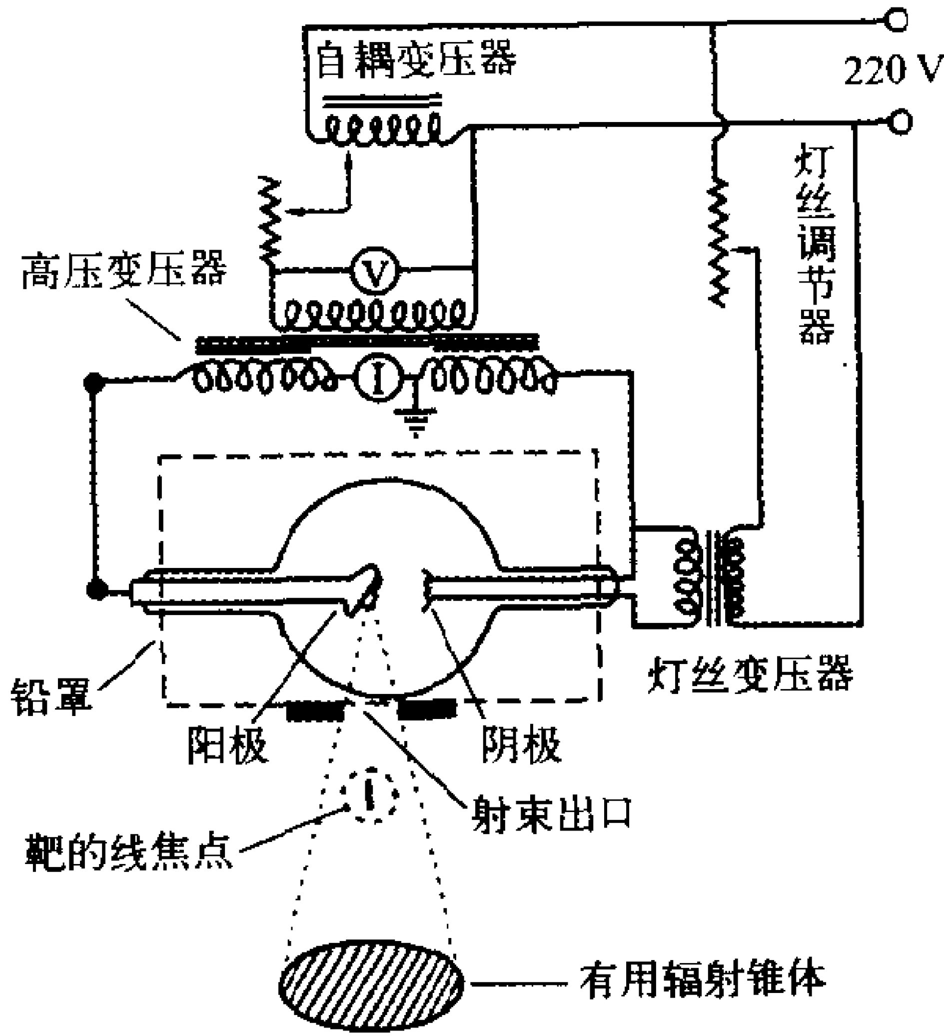
fusheboxing dianci maichong moniqi

辐射波型电磁脉冲模拟器 electromagnetic pulse radiation wave type simulator 产生模拟核电磁脉冲辐射电磁场的设备。包括高压脉冲发生器、峰化电路及辐射天线。高压脉冲发生器及峰化电路与有界波型一样（参见有界波形电磁脉冲模拟器），但天线可将电磁波辐射出去。这种模拟器可以固定安装在空旷的场地上，也可安装在车上作为移动设备以便对较大型设备或阵地固定设备进行电磁辐射效应试验。一般要求脉冲高压约为 1 MV，脉冲上升时间小于、近似等于 10 ns，持续时间约为数百纳秒。在 50 m 处的场强可达数十千伏每秒，在工作范围内电磁场要有较好的均匀性。

（撰写：赖祖武 审订：郑绍唐）

fushe chanshengqi

辐射产生器 radiation generator 能产生诸如 X 射线、中子、电子等电离辐射的装置，尤指用于科学、工业或医学等领域的小型装置，如 X 射线机、中子管、小型粒子加速器。这类装置通常是用电学或电磁方法在真空中加速带电粒子打在适当的靶上产生所要利用的辐射，或者直接引出被加速的带电粒子束供应用。



X 射线管及其有关的自整流型电路简图

（撰写：陈明焌 审订：胡遵素）

fushe chengxiang

辐射成像 radiation imaging 射线穿过物体时受到物体吸收或散射，利用探测器获得的透射或散射粒子信息，重建出与物体内部结构相对应的图像。结合特定的扫描方式和成像算法，还可得到物体的断层图像或三维图像。现代辐射成像技术是一门综合性很强的应用学科，相关的学科有物理学、数学、加速器技术、X 射线源技术、核探测技术、机械技术、电子技术、计算机技术、计算方法、图像处理等。辐射成像具有穿透厚度大、能透射多层介质、空间分辨率高、检测速度快、检测结果直观、不需与被测物体接触等优点。因此，在诸如巨型、精细、复杂结构、高低温等特殊物体的检测，或多个物体的连续快速成像，以及需要多种成像方式（二维、三维、透视、层析等）的地方具有不可替代的优越性。现代辐射成像无损检测技术已

F

普遍应用于医学、安检、国防和制造等行业，如航空航天部门喷气发动机涡轮叶片和固体火箭燃料内部缺陷的检测，石油化工部门各类塔、罐、管道和阀门的检测，机械制造部门各类焊接、精密组装以及缺陷、磨损的检测，军工部门导弹生产及贮存、炮弹装药、引信组装的检测。



我国研制用于海关反走私等的集装箱扫描系统获取的图像

（撰写：李 政　审订：席德明）

fushe de xishou jiliang zengqiang xiaoying

辐射的吸收剂量增强效应　absorb dose enhancement effects of radiation　在两种原子序数差异很大的材料的界面处，辐射吸收剂量增强的现象。剂量增强的原因在于射线通过界面处的高原子序数材料，会产生更多的电子。剂量增强效应在材料中整个电子射程内均存在。通常以剂量增强因子DEF表示剂量增强的程度，剂量增强与射线的能量、器件的材料和结构、金属化封装类型有关。

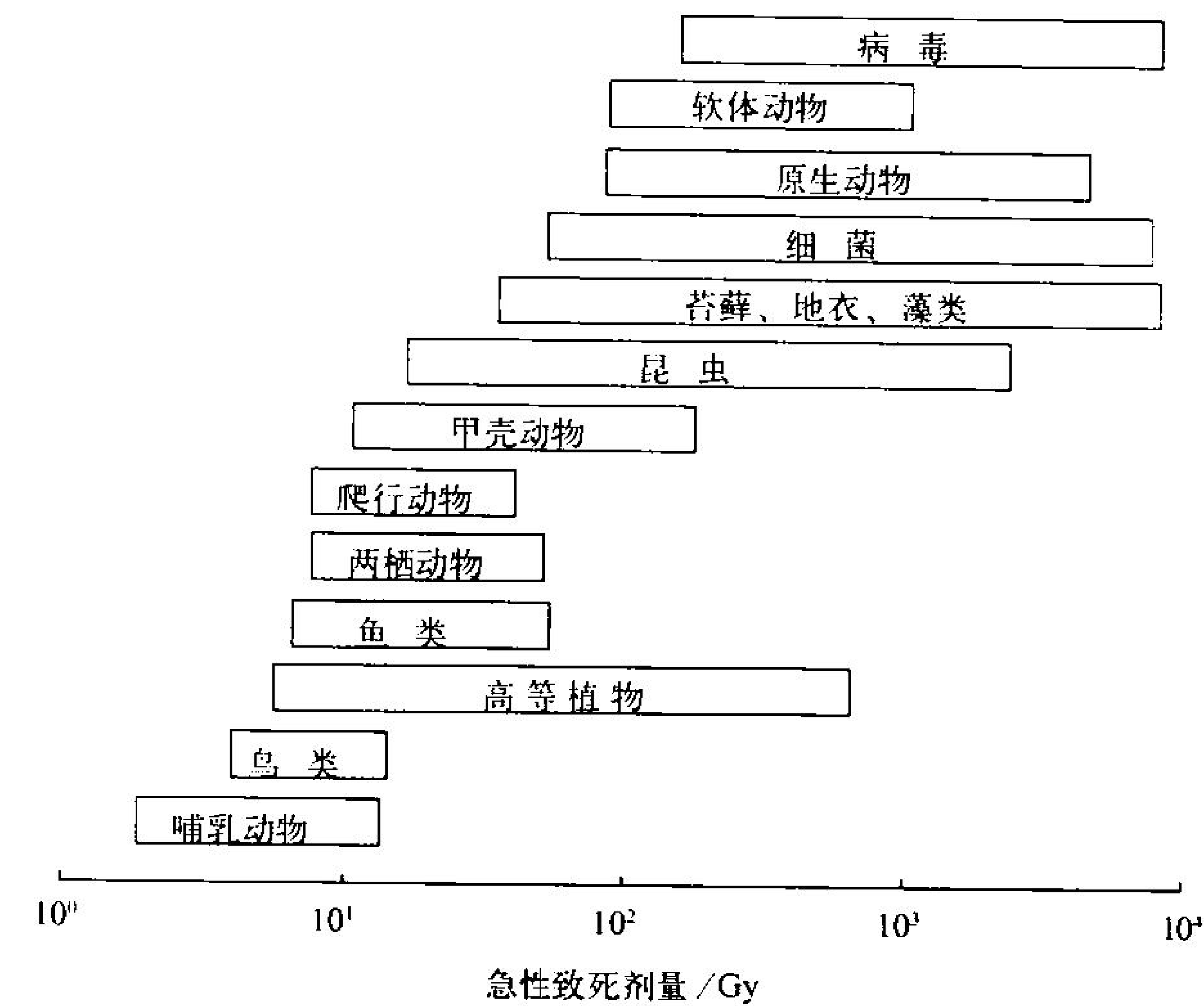
（撰写：倪建平　审订：赖祖武）

fushe dui dianzixitong de sunshang xiaoying

辐射对电子系统的损伤效应　damage effect of radiation to electronic systems　高能辐射粒子与电子系统各部分作用，使系统性能受损伤的现象。损伤包括电子系统性能暂时失效或永久失效。可能出现的情况包括：电路故障或电路功能退化；电路增益或输出能力降低；输出寄生信号；逻辑错乱；控制失调；寄生延迟响应；信噪比降低；传送能力减弱等。辐射对电子系统的总的影响取决于系统所用的元器件参数受辐照产生的变化情况。（撰写：倪建平　审订：赖祖武）

fushe dui dong zhiwu jiqi zhongqun de xiaoying

辐射对动、植物及其种群的效应　effects of radiation on plants, animals and its populations　X射线和放射性物质发现后不久，人们即着手开展电离辐射对动、植物影响的研究。自1945年第一次核爆炸以来，环境辐射照射的效应和放射性物质在环境中的行为就一直受到人们的广泛关注。对于人类，个体所受损害的危险是必须降低到最小的，而对于绝大多数其他物种来说，种群才是有意义的，从而应实施合适的辐射照射控制以保护种群。生物对辐射致死的敏感性范围很宽，附图描绘了各分类群的急性致死剂量的大致范围。从附图可见，哺乳动物是最敏感的，接下来是鸟类、鱼类、爬行类和昆虫。植物呈现很宽的敏感性，且通常与动物的敏感性范围相重叠。对急性辐射照射最不敏感的是苔藓、地衣、藻类和微生物（如细菌和病毒）。生物对辐射的敏感性取决于受照时所处于的生命阶段。胚胎和未成熟型比成熟体更为敏感。对最敏感的植物物种，在剂量率为1000～3000 μGy·h⁻¹的情况时，已可发现慢性照射效应。对最敏感的动物物种哺乳动物来说，当所受剂量率为400 μGy·h⁻¹时，几乎没有迹象表明可对种群死亡率产生严重影响。在正常情况下，核设施排入环境的放



生物对辐射致死的敏感性范围示意图

射性物质的附加剂量对动、植物不可能产生可察觉的影响。但在严重事故之后，如苏联切尔诺贝利和乌拉尔东南部事故之后，则已在生物个体和种群中观察到了损伤。

（撰写：潘自强）

fushe fanghu

辐射防护　radiation protection　又称保健物理或辐射安全。防止电离辐射对人产生有害作用的科学技术。辐射防护系应用性学科，作为基本的学科主要有：辐射剂量学、放射生物学、放射生态学、辐射屏蔽学和辐射探测等；也涉及核工程、气象学、地质水文学、工业安全、法律、教育和实用心理学等。辐射防护包括：辐射防护原则与目标；辐射防护方法；辐射监测技术；辐射防护评价和辐射事故应急。辐射防护原则和目标是辐射防护的依据和出发点；防护方法是为了达到防护目标和执行防护原则所必须采取的措施；监测技术是检验防护方法是否达到预定目的的手段；防护评价则是全面分析和研究防护设施和方法是否符合辐射防护最优化的原则及进一步改善防护状况的途径。（撰写：潘自强）

fushe fanghu biaozhun

辐射防护标准　radiation protection standards　为了保障辐射工作人员和公众的健康及辐射安全,保护环境,根据剂量限制体系及其辐射防护原则所制定的统一规定。辐射防护标准体系由专业基础标准及其门类通用标准组成。在辐射防护专业基础标准（例如GB 8703－88《辐射防护规定》）之下的通用标准分许多个门类。例如：核燃料循环、反应堆核动力厂、辐射设施和放射性同位素、环境辐射防护、辐射监测、辐射事故和辐射应急、放射性物质运输、放射性废物管理、辐射防护评价、医学防护、辐射防护最优化、辐射屏蔽、防护衣具等。人们常认为辐射防护标准就是指辐射防护专业基础标准或其中的剂量限值以及由它引出的各种导出水平。我国于1960年颁布了第一个辐射防护标准《放射性工作卫生防护暂行规定》。1974年又颁布了新的标准GBJ 8－74《放射防护规定》。为了采纳ICRP第26号出版物中的关于辐射防护的新概念和原则，于1984年和1988年分别颁布了《放射卫生防护基本标准》和《辐射防护规定》。1990年ICRP发布了第60号出版物（1990）。之后，国际原子能机构（IAEA）等6个国际组织共同倡议制定

了《国际电离辐射防护和辐射源安全的基本安全标准》(以下简称BSS)。国内有关部门已等效采用BSS，修订了新的辐射防护基础标准。（撰写：汪佳明　审订：胡遵素）

fushe fanghu dagang

辐射防护大纲　radiation protection program　辐射源的营运单位为实施辐射防护而制定的纲领性文件,它可以是营运单位的政策性文件,也可以是营运单位在某一时段或针对某一特定活动而制定的文件,其主要内容包括辐射防护政策、各级管理层和执行层的职责、辐射防护目标、所要达到的具体指标以及为实现这些目标和指标而采取的各项技术措施。作为辐射防护大纲的核心，辐射防护政策是辐射源营运单位根据辐射防护基本原则和国家有关法规及标准，结合本单位的实际情况，为保护从事辐射工作的员工、其他有关人员和公众而制定的基本方针，包括营运单位对辐射安全的承诺。辐射防护政策的表述应简明扼要并通过有效的措施为从事辐射工作的员工和其他有关人员所知晓。在满足国家有关的辐射防护规定或标准的前提下，营运单位根据本单位具备的资源和具体的任务要求确立大纲的目标。该目标应具有先进性和挑战性，又应实事求是，经过努力可以实现。根据大纲目标制定具体的辐射防护指标（如个人剂量、集体剂量、表面污染、体内污染和辐射事故或事件次数等限制值）是实施辐射防护控制的基本方法。辐射防护指标应具有可操作性,营运单位可以利用这些指标进行考核、比较和评审。如果大纲涉及的任务由多项工作或步骤组成,还可将这些指标进行细化,分配到每一子项或一个任务的各个步骤中去。为实现大纲的目标和指标所采取的措施除包括日常的程序规定如工作场所分区、进入许可证制度、培训和授权制度、剂量管理和控制、污染控制等以外，还应包括针对性的或特殊的管理和技术措施，如针对性的培训、降低源项和质量控制的方法、经验反馈和良好实践等。由于辐射防护最优化(参见*辐射防护最优化*)已经发展成为辐射防护体系的一个有机组成部分，两者密不可分。因此，辐射防护大纲还应充分体现辐射防护最优化的原则和措施。

（撰写：陈德淦　杨玲　审订：施仲齐）

fushe fanghu mubiao

辐射防护目标　radiation protection aims　为保护人类、其他物种及其环境，将由于人类活动增加的和某些天然的辐射照射造成的危险控制在合理的水平。电离辐射和放射性物质的存在是物质的固有特性。对辐射照射伴有的危险只可能加以限制，而不能够予以完全消除。因此，辐射防护的主要目标是为人类提供一个适宜的防护标准并加以实施而不致过分地限制产生辐射照射的有益的实践，使剂量保持在有关阈值以下以防止确定性效应的发生，并保证采取所有合理的措施以减少随机性效应的发生率。辐射防护目标可依体系、层次和具体的行动的不同而有所差异，如实践体系的防护目标、潜在照射的防护目标等。（撰写：杨华庭　审订：张延生）

fushe fanghu pingjia

辐射防护评价　radiation protection assessment　根据源项和(或）辐射监测的结果，选择恰当的模式和参数，计算工作人员和公众所受的和可能所受的个人剂量和集体剂量（这一部分通常称为照射评价或剂量评价）；在此基础上，根据辐射防护最优化的原则，综合分析防护方法和剂量数据，提出进一步改进辐射防护的方法及防护资源最佳分配方案。使工作人员和公众所受剂量达到可合理达到的最低水平。辐射防护评价可分为工作人员辐射防护评价和公众辐射防护评价。公众辐射防护评价是环境影响报告书的主要组成部分。在进行公众辐射防护评价时，应特别注意模式和参数的选择、并用实际的监测数据验证模式和参数的可用性。

（撰写：潘自强）

fushe fanghu yuanze

辐射防护原则　radiation protection principles　为达到辐射防护目的而普遍遵守的基本原则。现行辐射防护的基本原则是国际放射防护委员会于1990年在其第60号出版物中提出的，称为辐射防护体系，其工作中心不是简单的剂量限制，而且包括辐射防护的最优化。该防护体系将人类活动分为实践和干预两种情况，并分别提出辐射防护的基本原则。关于实践的辐射防护基本原则如下：(1) 实践的正当性；(2) 辐射防护最优化；(3) 个人剂量限值。关于干预的基本原则如下：(1) 正当性；(2) 最优化。实践的个人剂量限值不适用于干预。此辐射防护原则已为全世界各国所接受，融入各国的有关法规，得到广泛地应用。在我国的国家标准《辐射防护规定》中，全面采用了此辐射防护基本原则，成为辐射防护理论与实践的指导原则。（撰写：王恒德　审订：陈明焌）

fushe fanghu zuiyouhua

辐射防护最优化　optimization of radiation protection　对某一项实践中任何特定源的照射，个人剂量的大小，受照人数以及引起照射的可能性，在考虑了经济和社会因素后，应当全部保持在可合理做到的尽量低的程度，并限制该源产生的个人剂量要在剂量约束之内。辐射防护最优化是辐射防护体系的重点，是否推行和实施最优化已成为判断辐射防护优劣的重要标志。至于最优化的方法和实施，从简单的常识判断到复杂的代价—利益分析，以至于多属性分析，均有助于判断是否要对实践或实践的某一组成部分采取减少照射的措施。辐射防护最优化主要是源相关的，所以首先用于任一计划的设计阶段。这时最易达到省钱而又有效地降低剂量的目的；而运行最优化通常是非正式的涉及操作方法上属于常识范围的改变，往往也很有效。大多数最优化方法倾向于强调对社会及全体受照人员的利益和危害，但利益和危害不可能在社会中以相同的方式分配，因此有可能在某一个人和另一名个人之间引起相当大的不公平。这可以在最优化过程中引入源相关的对个人剂量的限制，以缩小这种不公平。这种源相关的限制即为剂量约束。对潜在照射来说相应的限制是危险约束。它们是最优化不可分割的一部分。辐射防护最优化必须贯穿于实践或设施的选址、设计、运行和退役的全过程。

（撰写：张延生　审订：马吉增）

fushe gongzuo changsuo fenqu

辐射工作场所分区　classification for radiation working areas　将放射工作场所划分为控制区和监督区，而控制区又酌情进一步划分为若干子区。放射工作场所分区的目的是为了在设计阶段对不同区域合理且适当地设置防护措施，以便于在运行操作阶段控制工作人员所受照射大小、控制放射性污染扩散和限制潜在照射的影响范围与大小。分区的技术依据主要是区域内正常照射情况下的外照射辐射水平和空气中的放射性污染水平，并适当考虑潜在照射的可能性及大小。分区应在设计阶段决定；但在运行操作阶段运行管理者应根据实际

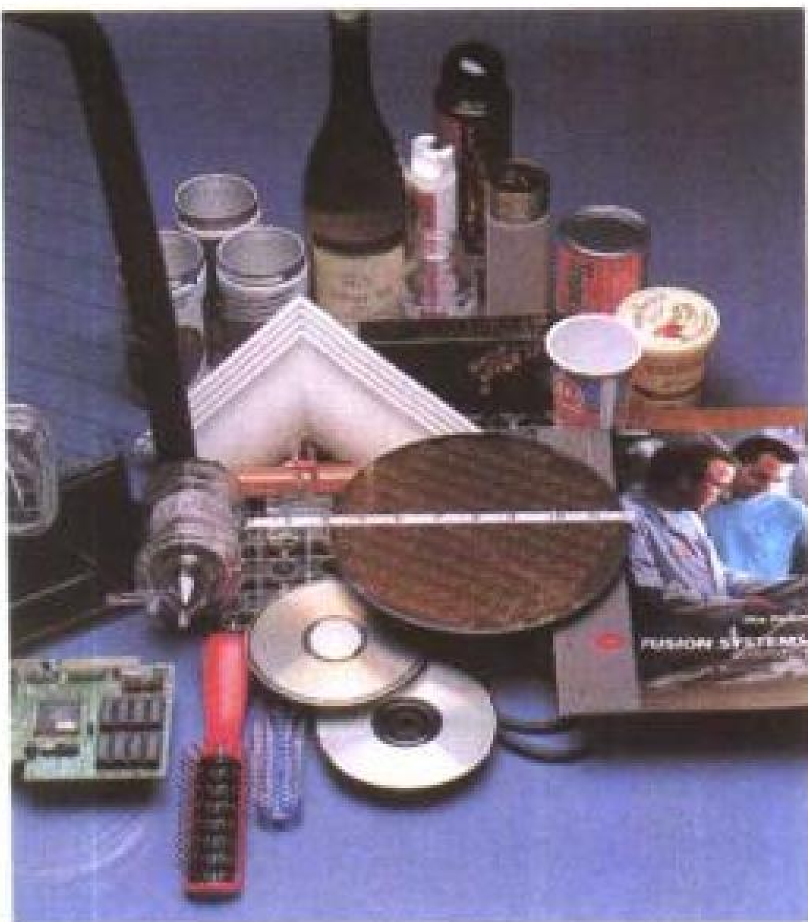
F

的辐射和污染水平适当予以调整。应当注意辐射工作场所分区和辐射分区在概念上的区别与联系。辐射分区通常是指对一个大型辐射源设施（如核电厂）将其工作区域分为非控制区和辐射工作区（即辐射工作场所），而辐射工作区则分为控制区和监督区，控制区又进一步分为若干子区。在非控制区可能受到的照射通常不属于职业照射范围。

（撰写：吴德强　审订：华　旦）

fushe guhua

辐射固化　radiation curing　通过辐射，如紫外光（UV）或电子束（EB），将涂布在基材上的无溶剂活性液体转变为固体的加工过程。与常规的热固化（干燥或硬化）相比，辐射固化过程的特点主要是：固化速度快，效率高，节省能源而且无有机溶剂挥发，可实现零废物和零排放加工，有利于环境保护。在辐射固化中，辐射源（如中压汞灯、电子加速器或其他射线源）是引发化学过程的基础。然而工艺的关键在于无溶剂液态固化体系，包括各种油墨、涂料及粘合剂的配方的开发，以及化学原料，如稀释剂、光引发剂及各种助剂的制备。辐射固化是20世纪50年代发展起来的加工技术，现已广泛地用于电子器件、印制线路板、光纤、光盘、磁带、纸张、木材、塑料以及汽车部件等产品的表面固化（见图）。不仅如此，辐射固化还可通过电子计算机控制实现光点辐射精细扫描，对无溶剂液态固化材料进行三维铸造成形，制作高难度的立体部件。

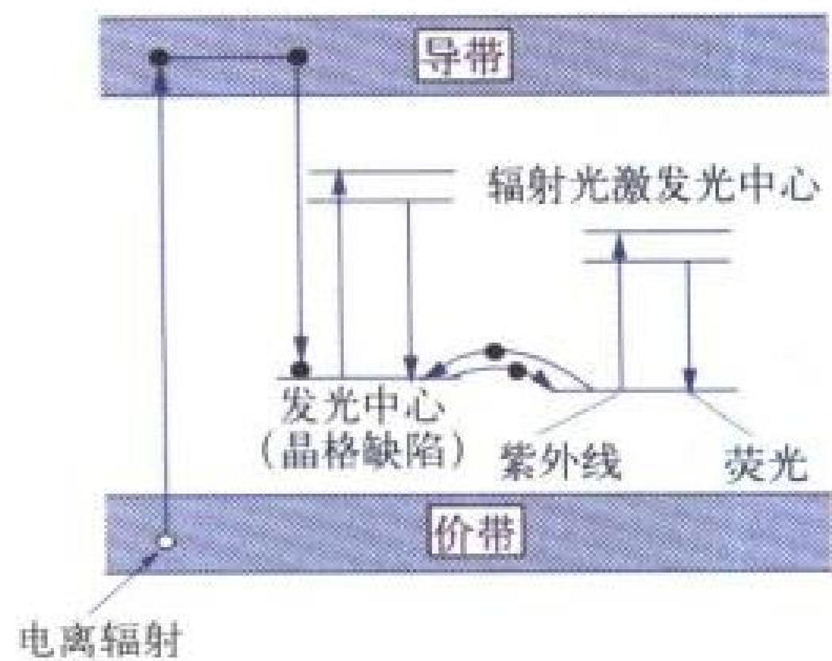


辐射固化产品

（撰写：金有铭　审订：吕延晓）

fushe guangzhifaguang tanceqi

辐射光致发光探测器　radiophotoluminescent detector　利用测量光激发光的方法来测定累积剂量的储能探测器。辐射光致发光探测器又称光致发光探测器。辐射光致发光探测器通常由通过掺杂的无机晶体、玻璃来制作。该种探测器的原理是由于杂质的存在，在晶体内形成缺陷，使晶体内导带和价带间产生亚稳态的陷阱能级和辐射光致发光中心。辐射光致发光材料被射线照射后，在晶体中所产生的电子或空穴被陷阱俘获，形成潜在的发光中心，把辐射能量较长期地保存起来。当用光照射辐射光致发光材料时，陷阱中的电子被激发至能量较高的辐射光致发光中心，然后再返回到发光中心，同时发出荧光（见图）。由于陷阱是亚稳态的，所以测读过程并不会使存储的信息丢失，即可反复测读。在一定的剂量范围内，被陷阱俘获的电子数与吸收剂量成正比。通过测定发光总量即可知吸收剂量。因辐射光致发光材料必须满足激发光可以入射到其内部，而发射的光又可出射的透明条件，因此，常用的辐射光致发光探测器为银激活的磷酸盐玻璃。辐射光致发光技术可用于个人或环境辐射监测，最具代表性的就是荧光玻璃剂量计。由于前剂量高，影响探测下限，使得该项技术的应用一度不如热释光技术普及。但近年来，根据荧光衰减时间的不同，采用激光脉冲光激发，有效区分了前剂量与剂量，使探测下限大幅度下降。目前荧光玻璃剂量计可与热释光剂量计相媲美，并且还有可反复读测、衰退小、信息能保存等优点。



辐射光激发光原理简图

• —电子；◦—空穴

（撰写：马吉增　审订：张廷生）

fushe huaxue

辐射化学　radiation chemistry　研究电离辐射与物质相互作用所引起的化学效应的学科。辐射化学与放射化学、物理化学、光化学等学科关系密切。辐射化学与放射化学的区别在于：辐射化学是将放射性同位素作为辐射源，注重的是其衰变能所引起的化学反应。而放射化学研究的是放射性同位素本身的普遍化学性质和物理化学性质。辐射化学的发展大致分为三个阶段：第一阶段是萌芽时期（1895～1930年），X射线和放射性的发现，并提出离子群理论和自由基理论；第二阶段是：1930～1942年，X光机投入使用，开展了水和水溶液的研究；第三阶段为1942年至今，辐射化学形成了自身独立的研究体系，逐渐沿着辐射化学基础理论、生物相关体系辐射研究以及应用辐射化学三个方面的内容发展。

（撰写：包华影　审订：吕延晓）

fushe huaxue chan'e

辐射化学产额　radiation-chemical yield　受电离辐射照射体系每吸收100 eV能量所发生变化（生成或分解）的粒子数，以G值表示。所谓粒子可以是自由基、离子、大分子、官能团、生物大分子等。如体系中每吸收100 eV能量发生反应的水分子数，可表示为G（$-H_2O$）；而G（·OH）则为氢氧自由基的生成数。影响G值的因素有辐射类型和射线能量大小。因此，对于同一个被辐射照射体系，可以有多个G值。G值的标准计量单位是mol/J。（撰写：包华影　审订：吕延晓）

fushe huanjing guanli biaozhun

辐射环境管理标准　standards for radiation environmental management　执行辐射环境保护法规的准绳。辐射环境管理的根本目的是保护公众健康，因而辐射防护的基本标准是针对人而设定的，国际上现行的辐射环境基本标准均是以反映人员健康安全概率的量，即年有效剂量来表示。我国现行的国标与国际原子能机构推荐的限值一致，即各种人工辐射源所致公众年有效剂量当量之和的限值为1 mSv，这个标准相应的危险水平约为十万分之一，是非常安全的。相比之下，公众个人每年受到天然辐射源的照射剂量可达2～3 mSv。考虑到公众可能受到几个人工辐射源的影响，因此，在辐射环境管理中规定一个具体的人工辐射源项对公众产生的剂量只能是基本限值的若干分之一。例如，对于核电厂规定的约束剂量仅为0.25 mSv。除了基本标准之外，在辐射环境管理中还规定次级标准，如对核电厂等规定的年排放量限值。次级标准是容易测量的量，并且要求满足了次级标准，基本限值也能得到满足。基本标准和次级标准是强制执行的，此外还规定了一些指导性的标准，如室内氡浓度补救指导水平，以及辐射测量及评价方法等参考标准等。近年来，发现有一些生

物对辐射非常敏感，因此，辐射环境管理标准，除主要针对人的之外，正在研究对环境中其他生物的相应标准。

（撰写：赵亚民　审订：潘自强）

fushe huanjing guanli fanwei

辐射环境管理范围　scopes for radiation environmental management　包括任何来源的可能影响人类生活环境质量的辐射。从电离特性来说，辐射分为电离辐射和非电离辐射。电离辐射即通常所说的核辐射或放射性，非电离辐射指的是常见的电磁辐射。在环境管理中，电离辐射按来源分三大类：核设施类、核技术应用类以及伴生放射性矿物资源开发利用类。核设施包括核电厂、研究堆、核燃料生产厂、后处理厂、铀矿采冶和提纯设施以及高能加速器等。核技术应用项目已普及到人类生活的各个方面，包括放射性同位素的应用、密封源的应用以及射线装置的应用。伴生放射性问题涉及到稀土工业、有色冶金、磷酸盐工业、煤炭工业、石油工业、建材以及室内氡等。它们共同的特点是：这些放射性是天然存在的，由于人为活动使之分布发生变化，影响到人类的生活环境质量。非电离辐射可分为两大类：使用电磁辐射传递信息类和直接使用电磁能类。传递信息类包括电视、无线电广播、微波通信、移动通信和雷达等。利用电磁能的项目包括微波炉、热合机、热疗机、电力机车等。（撰写：赵亚民　审订：潘自强）

fushe huanjing guanli yuanze

辐射环境管理原则　principles for radiation environmental management　对伴有辐射的设施或活动向环境排放的放射性物质或辐射加以限制，对天然存在的、辐射水平较高的辐射场所采取适当的补救措施，从而实现保护环境和公众健康的目的。辐射环境管理有以下原则：(1) 预防为主。辐射污染事故不但会损害公众健康，还可能引发社会问题，因此辐射环境管理必须作好预防，防患于未然。(2) 确保安全。辐射损害包括确定性效应和随机效应。对于辐射环境管理通常遇到的辐射水平不足以引起确定性效应。因此辐射环境管理的安全目标是防止发生确定性效应的情况下，把随机性效应的发生概率尽可能降低，要低到公认的安全行业的危险以下，一定要确保安全。(3) 执行最优化。对一个特定的实践或干预，在满足基本安全标准后，如果确认不用花费较大代价仍会使环境影响明显改善的话，就不应满足于达标要求，仍需努力进一步提高安全水平，使危害降到可合理达到的尽量低。(4) 实施全过程管理。为确保环境安全，对伴有辐射的设施实行从立项到退役以及废物处置的全过程管理。

（撰写：赵亚民　审订：潘自强）

fushe jiliang celiang

辐射剂量测量　measurement of radiation dose　确定剂量量值的一组操作。辐射剂量含义颇多，包括照射量、比释动能、吸收剂量和剂量当量等。这些量应用于不同领域，其测量原理和方法及要求的准确度也不尽相同。如放射治疗最适宜的辐射量是水吸收剂量，且要求测量不确定度小于5%。目前能以最高准确度测量和建立了国家标准的量是照射量和极少国家建立的空气比释动能标准。其他辐射量只有衍生的标准，有些辐射量如剂量当量要求的准确度也相对较低。能以较高准确度测量辐射量的方法，主要是电离法、量热法和化学法。能用于测量辐射剂量的其他方法很多，如闪烁体、计数管、胶片法、TLD、外电子发射等，多作为现场工作剂量测量。辐射剂量测量的特点是，不但与入射粒子种类有关，还与入射粒子能量有关，甚至和粒子入射方向有关，因而测量的难度比较大。准确测量辐射剂量在充分发挥它的效益，保证从业人员健康和保护环境不受人类核活动影响方面具有十分重要的意义。（撰写：李景云　审订：容超凡）

fushe jiagong

辐射加工　radiation processing　采用电离辐射对材料进行加工处理的一种工艺过程。电离辐射的能量一般远远高于材料物质中分子的价键能量（可超过几个数量级），因而电离辐射与物质相互作用时会产生包括核反应在内的各种物理、化学和生物效应。这些效应构成了电离辐射对物质材料进行加工处理的技术基础。辐射加工有别于传统加工（如机械加工、热加工、化学加工等）的主要特点在于：加工温升很小，是一种冷加工，有利于热敏材料的加工；电离辐射的穿透性可对包装好的物品进行处理（例如消毒杀虫等），或实现固相物质的反应与改性；加工体系内不需催化剂和化学添加剂，因而产品纯净，无化学残留；加工过程控制方便，而且高效快速，易于实现规模化的连续生产；低能耗，无公害或少公害。各种电离辐射的加工应用领域见表。

辐射加工及其应用

电离辐射	工艺过程	应用实例
γ射线	有机高分子材料聚合(或接枝聚合)，杀虫、消毒、灭菌，抑制果实早熟、根茎发芽，装饰品材料改性等	医疗用品消毒灭菌，电池隔膜与木一塑材料制备，农产品、水产品、畜产品与食品的保藏，商品养护，档案与文物保存，珍珠、玉石、玻璃色质改善等
电子束	高分子材料交联，表面涂层固化，废气无害化，半导体改性等	提高电线电缆绝缘层耐热性，热收缩材料制备，物品组件表面涂层装饰，层压制品加工，印刷包装油墨固化，火电站与垃圾站废气处理，半导体器件加工等
离子束	离子注入掺杂	半导体材料改性，金属材料改性等
中　子	中子嬗变掺杂	半导体材料改性

（撰写：吕延晓　审订：包华影）

fushe jiagu de dianzi qijian

辐射加固的电子器件　radiation hardening electronic components　具有抗辐射能力的半导体器件。中子、γ (X) 射线和高能带电粒子对半导体器件的主要损伤机理是位移效应、瞬态电离效应和电荷积累效应，导致器件参数降级（参数失效），严重时失去功能（功能失效）或烧毁。不同工艺的器件和集成电路对于不同辐射的敏感度相差甚远，例如双极器件和电路对中子损伤敏感，体硅的CMOS（金属氧化物半导体）电路仅对γ电离辐射剂量敏感，二者对电离辐射高剂量率、电荷积累效应敏感。因此，需要针对辐射敏感点采取抗辐加固措施以提高器件的辐射容限。例如，经加固后的双极器件中，容限提高近100倍，CMOS器件电离辐射总剂量容限提高100～1000倍。有些新工艺器件，例如以蓝宝石为底的CMOS SOS或CMOS/SOI（绝缘衬底）器件，本身就有较高的辐射容限，但成本昂贵。（撰写：乔登江　审订：吕敏）

fushe jiance

辐射监测　radiation monitoring　为了评估和控制辐射或放射性物质的照射而进行的辐射测量或放射性测量及对测量结果的分析和解释。为了评价伴有辐射的实践或产生辐射的设施对人的影响，必须估算人受到的有效剂量和当量剂量等量度

辐射危害的量。而这些量往往不能直接测量，必须根据监测其他可直接或间接测定的量，按一定模式来估算。辐射监测的结果是估算工作人员和公众受照的剂量，确认工作场所和环境的安全程度，进行辐射安全评价和辐射防护最优化分析不可缺少的资料，也是采取辐射防护和安全管理措施的依据。这些资料还可以用来确认操作上存在的问题或设备缺陷，发现事故征兆，以便及时采取防范措施，防止重大事故的发生。按照辐射监测的性质和目的，辐射监测可分为常规监测、与工作任务相关的监测和特殊监测；根据监测对象则可分为场所监测、环境监测、流出物监测以及个人监测。一切伴有辐射的实践和设施，都应视具体情况制定出常规和应急的两种监测计划。通常的监测计划应包括下列内容：(1) 监测类型、目的和要求；(2) 需要直接或间接测量的辐射量、待估算量及其估算模式；(3) 相应的辐射管理标准和执行限值；(4) 测量方案，包括测量方法、采用的测量仪表和设备；(5) 测量频度；(6) 对测量记录的要求，记录的保存和销毁；(7) 对监测计划的审查和修改程序；(8) 监测的质量保证措施。

(撰写：张延生　审订：马吉增)

fushe jiance yibiao

辐射监测仪表　radiation monitoring instrument　为辐射防护目的用于监测辐射的仪器或仪表的统称。辐射监测仪表一般由辐射探测器和信号处理(含记录单元)系统两部分组成。探测器的主要作用是把进入探测器灵敏体积的辐射转变为信号处理系统能够分析和记录的信号。最常用的探测器有：气体探测器、半导体探测器、闪烁探测器和其他类型的探测器。与探测器相配合的信号处理系统要根据探测器的类型和性能而定。信号处理系统是由常用核电子学记录单元、计算机微处理器单元和显示输出单元等组成。按照监测的辐射类型，辐射监测仪可分为 α，β，γ，X 和中子监测仪表；按照使用方式可分为固定式和可携式监测仪表；按照监测对象可分为表面污染监测仪、场所监测仪表、个人监测仪、空气污染监测仪、流出物监测仪和环境监测仪等。使用辐射监测仪表时，应注意所用仪表的能量响应、角响应、次级电子平衡条件及量程等是否与相应的辐射场特性和监测目的相适应。用于发现或防止事故的监测仪应有报警指示功能。选用监测仪应考虑下列要求：(1) 有足够的灵敏度；(2) 要有高的可靠性和稳定性；(3) 要指明应用范围和条件，特别要给出量程范围和能量范围；(4) 在强辐射场中辐射水平超过量程范围时，应保持满刻度指示；(5) 具有足够牢固性，使用和维修方便，易于去污并且价格便宜。

(撰写：张延生　审订：马吉增)

fushe jiance zhiliang baozheng

辐射监测质量保证　quality assurance for radiation monitoring　为使监测结果具有适当的置信度而采取的有计划的、系统的、有证明文件的全部活动。质量保证中的一个重要的组成部分是质量控制，质量控制是为了度量和控制影响监测结果质量的重要因素满足规定要求，提供方法而采取的质量保证措施。为了达到监测的目的，质量保证要贯穿于从监测方案制定到监测结果评价和报告编写的每一阶段。任何监测计划，必须建立质量保证大纲。制定质量保证大纲时通常主要考虑以下内容和因素：(1) 组织机构和管理，建立职责明确、能有效运行的执行质量保证管理的组织机构；(2) 人员资格，规定各类参与监测和质量保证人员的资格，并通过培训、考试，使其保持相应的技能和资格；(3) 操作程序，一切与监测及其质量保证有关的全部操作，如采样、测量、数据处理和报告的编写等，均要建立书面程序；(4) 设备和仪器，建立定期检定、刻度、检验和维修制度，确保其性能和质量，并使其在使用时仍保持在良好的刻度状态；(5) 可溯源性，规定提供标准物质单位和仪器刻度单位的条件，确保监测结果可溯源到国家标准；(6) 测量、分析方法，尽量采用标准的方法或经过实验验证并经主管部门批准的方法；(7) 测量比对，积极参加各类比对，以发现本单位难以发现的测量中的问题和缺陷；(8) 实验室分析的质量控制，规定使用平行样、(盲)空白样、掺标样的数量、方法和合格标准；(9) 数据处理，建立科学合理的数据处理方法和复核程序；(10) 程序审核，对任何直接和间接影响监测质量的操作程序或标准，作正式、独立的评价。工作人员辐射防护监测、辐射环境监测、放射性流出物监测等各类监测，由于各自的监测对象和要求有所不同，其质量保证大纲的侧重点也应有些不同。

(撰写：张延生　审订：马吉增)

fushe jiangjie

辐射降解　radiation degradation　又称辐射裂解。聚合物在电离辐射的作用下，其大分子链产生断裂的过程。辐射降解导致聚合物分子量减小，黏度、机械强度和热稳定性均降低。聚合物在发生辐射降解时，其逆过程——辐射交联也同时存在，只是程度不同。目前辐射降解已作为一种加工处理方法在工业上得到应用，例如聚四氟乙烯废料经电离辐射处理，其降解产物是一种超细粉末，可用作工业高级润滑材料。

(撰写：吕延晓　审订：包华影)

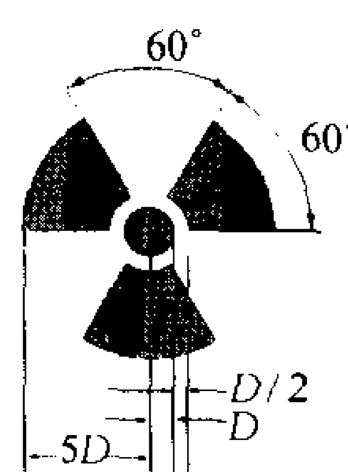
fushe jiaolian

辐射交联　radiation crosslinking　聚合物分子在电离辐射作用下，彼此之间搭桥产生交联键，最终形成三维网状结构的过程。辐射交联导致聚合物分子量增加，并使其性能发生变化，如材料机械强度增大、热稳定性提高、伸长率下降等。聚合物在进行辐射交联时其逆过程——辐射降解也同时存在，只是程度不同。目前辐射交联已作为一种工业加工过程，用于电线电缆绝缘材料的改性、热收缩材料的制备以及聚乙烯泡沫塑料的加工等。

(撰写：吕延晓　审订：包华影)

fushe jinggao biaozhi

辐射警告标志　radiation precaution sign　在实际或可能发射电离辐射的物质、材料(及其容器)和设备(及其所在区域)上附加的有一定规格和颜色的标志。辐射警告标志包括两部分：(1) 电离辐射基本标志（见图），这个标志表示可能发射或实际存在电离辐射；(2) 附加的文字说明、颜色或标记，目的是用可以理解的方式来表明照射危险的所有有关的大小和特征。



电离辐射标志(基本的三叶形符号)

其尺寸比例基于半径为 D 的中心圆，D 的最小尺寸为 4 mm

(撰写：刘华　审订：吴德强)

fushe liuxingbingxue

辐射流行病学　radiation epidemiology　研究特定辐射受照人群中与辐射健康效应相关事件的空间与时间分布及其影响

因素，用于评价辐射受照人群辐射致癌效应与辐射遗传效应。常用的辐射流行病学研究方法有"队列"研究和病例对照研究。队列研究是追踪观察暴露于某一辐射水平的人群组和未暴露于此辐射水平、但其特征与暴露组相同或相似的人群组的健康效应相关事件，比较两人群健康效应相关事件的发生率及其动态变化，分析该健康效应相关事件与该辐射照射的关系，给出单位剂量照射的危险概率，追踪观察未来一定时间内某健康相关事件的发生率，所以又称为前瞻性队列研究。如果历史资料齐全，队列研究设计时也可以把过去某一时间点存在的人群组作为观察对象，追溯到某时间点为止该人群组某健康效应相关事件的发生情况，这种方法称为回顾性队列研究。在辐射流行病学研究中，往往是采用这两种方法相结合。病例对照研究是比较研究患有某病或某健康效应相关事件的病例组与未患此病组具有相同或相似个人特征的对照组既往暴露于某些可疑致病因素的比例，进而推断这些因素作为病因的可能性。（撰写：常学奇　审订：吴　企）

fushe pingbi

辐射屏蔽　radiation shielding　全称电离辐射屏蔽。在电离辐射源和受其照射的某一区域之间，采用能减弱辐射的材料来降低此区域内的辐射水平。辐射屏蔽是一门综合性学科。它涉及到核物理学中的射线和物质的相互作用、保健物理学、材料科学和结构工程学。从具体的工作内容来看，它包括辐射源特征的确定、屏蔽材料的选择、辐射的减弱计算、屏蔽发热、实验屏蔽学、屏蔽结构的工艺设计以及最优化分析等方面。当前中低能辐射源，包括放射性同位素源、各类中低能加速器、X射线发生装置和核反应堆等，屏蔽学已完全成熟。至于高能粒子方面例如质子高能加速器的屏蔽，涉及到大量的次级辐射如核子—介子级联。由于过程复杂多样，关于强子—原子核相互作用微分特征的可信实验资料不够，因此计算中半经验方法仍起主要作用。宇宙飞行时的辐射防护在许多方面不同地面，这是因为宇宙射线带电粒子包括有质子、电子、α粒子、锂、铍等，能量可从几百keV至几千GeV。宇宙空间里带电粒子注量率在空间和时间上强烈变化，还需考虑在飞船壳体和结构部件以及人体组织内产生的次级辐射。由于辐射随空间—时间变化，其辐射权重因子也是变化的。此外，宇宙飞行中要采用较地面职业照射高得多的剂量限值，必须仔细地估计可能的辐射危险。（撰写：华　旦　审订：吴德强）

fushe quanzhong yinshu

辐射权重因数　radiation weighting factor　为辐射防护目的，对吸收剂量乘以的因数，用以考虑不同类型的辐射对健康的相对危害效应。表中列出了辐射种类和能量范围相应的辐射权重因数。（撰写：董柳灿　审订：潘自强）

辐射权重因数①

辐射种类与能量范围	辐射权重因数
光子，所有能量	1
电子及介子，所有能量②	1
中子，能量＜10 keV	5
10～100 keV	10
＞100 keV～2 MeV	20
＞2～20 MeV	10
＞20 MeV	5
质子，不是反冲质子，能量＞2 MeV	5
α粒子，裂变碎片，重核	20

① 所有数值与照射到身体上的辐射，或对内照射源而言，与由该源发出的辐射有关。

② 不包括由结合在DNA内的核发射的俄歇电子。

fushe shengwu xiaoying

辐射生物效应　radiation biological effects　电离辐射对有生命物种产生的效应；在电离辐射防护和放射卫生范畴通常是指电离辐射对人体（或人的群体）产生的健康效应。研究、探讨这一生物效应以保护自身及其他物种免受电离辐射的有害影响，同时在应用中最大限度地获取利益。近来，国际放射防护委员会将辐射生物效应分为两类：(1)确定性效应：当机体的全部组织或局部组织受到照射，如有相当数量的细胞被杀死且死亡的细胞又不能由活细胞的增殖来补偿，则这种照射可引起确定性效应，例如，由于骨髓造血细胞的损伤而引起造血功能的障碍。这种效应的严重程度与剂量有关，而且存在阈剂量。(2)随机性效应：是指受到照射的人群中发生这种效应的概率随剂量的增减而变化，但损害的严重程度与剂量无关。一般认为，随机性效应有两种，第一种发生在体细胞内并可能在受照者体内诱发癌症；第二种发生在生殖细胞内，并可引起那些受照者后裔的遗传疾患。人类的个体之间对随机性效应的易感性有很大的差别。环境条件对随机性效应的发生率也有很大的影响。减少剂量率可显著降低发生的频率。目前，对低剂量照射的剂量—效应关系模式仍有争议。低剂量电离辐射对生物机体可产生兴奋作用和一定的适应性。（撰写：魏履新　审订：孙世荃）

fushe shijian xukezheng

辐射实践许可证　licences for radiation practices　又称执照。审管部门在安全评审基础上批准授予的并附有该证持有者要遵守的特定要求和条件的证书。不同类型的实践或活动，审管部门颁发相应不同的许可证。对于核设施来说，辐射实践许可证通常由安全许可证所覆盖。

（撰写：吴德强　审订：华　旦）

fushe shigu he heshigu

辐射事故和核事故　radiation and nuclear accidents　在防护或安全意义上其后果或潜在后果不容忽视的意外事件，包括操作错误、设备故障或其他损坏。并非所有的事件都可以称之为事故，事故的后果是有害的，危险的，有时甚至可能是灾难性的，但许多事件并不造成明显安全后果。许多事件，按核设施设计的单一故障准则，是不至于发展成为事故的。为了迅速而清晰地向公众和新闻媒体通报事件情况，国际核事件分级表（INES）将事件分为七级（不包括0级），1～3级称为事件，4～7级称为事故。事故的发生是偶然的，其发生的时间、地点和情景是不可预知的。为了控制事故的发展和缓解事故的后果并恢复正常工作或操作状态，必须立即采取应急响应行动。核事故和辐射事故应急准备与响应工作是核安全和辐射安全工作的重要组成部分。

（撰写：王恒德　审订：陈明焌）

fushe shiyingxing fanying

辐射适应性反应　radioadaptive response　低剂量环境因子可以诱导生物体对继后高剂量该因子损伤作用的抵抗力，此现象称为适应性反应。在各种环境因子中当前研究较多的是低剂量辐射诱导的适应性反应，而且不同环境因子往往可以交叉诱导适应性反应。自从Olivieri等1984年报告人淋巴细

胞由低剂量辐射诱导细胞遗传学适应性反应以来，低剂量电离辐射诱导的适应性反应不断为其他学者以不同的实验模式所证实。无论是低剂量单次照射或低剂量率慢性照射均可在特定时间内增强生物体对高剂量辐射的抗性。这种现象可见于细菌、酵母菌、哺乳动物以及人体的多种细胞，其表现既有很强的普遍性，又因遗传背景不同而有一定的个体差异。低剂量辐射诱导的适应性反应可表现于DNA和染色体损伤、细胞凋亡、基因突变、细胞转化、致癌、免疫功能等生物学指标，但各有其诱导的剂量范围、时效和反应幅度。适应性反应的发生机制涉及 DNA 损伤激发的修复过程增强和细胞信号传递通路活化所致的基因和蛋白表达变化，其细节尚待进一步澄清。低剂量辐射和化学因子诱导适应性反应是辐射和化学兴奋效应的重要内容，受到放射生物学和毒理学界的高度重视，阐明其规律具有重要的理论和实际意义。

（撰写：刘树铮　审订：孙世荃）

fushe shuyun he neibao bawan fuzhao junyunxing

辐射输运和内爆靶丸辐照均匀性　radiation transport and irradiation uniformity of implosion capsule　驱动源和黑腔靶耦合产生的X光辐射在腔内的传输过程和位于腔中心的内爆靶丸受到X光辐照的均匀程度。注入腔内的多束激光在腔壁处产生发射X光的热斑（又称光斑）。X光经腔壁物质多次吸收和再发射使腔壁的辐射温度分布趋于均匀，发射谱趋于普朗克平衡谱。置于腔中心的靶丸同时受到热斑的一次发射和腔壁再发射的辐照。合理的单环光斑位置和激光脉冲的时间调制可使靶丸的时间积分辐照流的空间分布均匀；合理的多环光斑位置、激光能量配置以及激光强度随时间变化的调制还可以使随时间变化的靶丸辐照流空间分布均匀。在间接驱动惯性约束聚变中，实现靶丸点火要求其辐照不均匀度达 1%～2%。

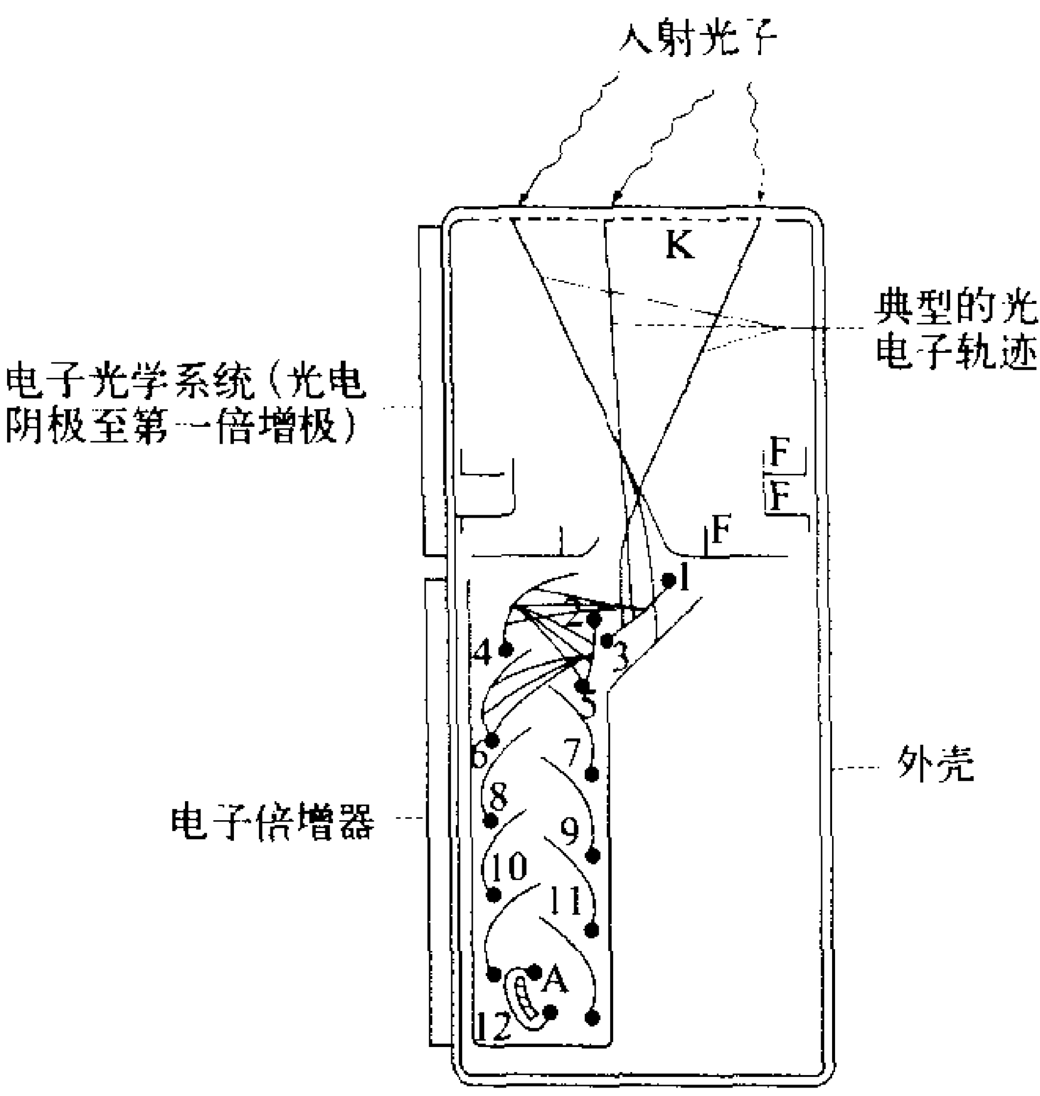
（撰写：赖东显　审订：常铁强）

fushe sunshang

辐射损伤　radiation injuries　机体受电离辐射照射而产生的各种类型和不同程度的有害效应。辐射作用于人体，可在分子、亚细胞、细胞、组织器官以及整体水平上产生各种损伤效应。其中，轻者对生命活动无明显影响或只发生某种机能变化，较重者造成可逆或不可逆损伤，严重者导致死亡。临床上把可观察到的辐射损伤统称为放射性疾病（radiation induced diseases）。这些疾病可以在照后几天或几周内出现，称为近期或早期效应（early effect），也可在半年后出现，称为远期或晚期效应（late effect）。辐射损伤可出现在受照者本身称为躯体效应（somatic effect），也可出现在受照者的后代，称为遗传效应（hereditary effect）。按照现代辐射防护概念，把辐射损伤分为确定性效应（deterministic effect）和随机性效应（stochastic effect）两大类。确定性效应是指严重程度和发生概率随照射剂量而改变的效应，存在剂量阈值，受照剂量控制在阈值以下，可以防止其发生，如全身照射引起的急、慢性放射病，局部照射引起的皮肤、眼晶状体等损伤效应。随机性效应是指发生概率（而不是严重程度）随照射剂量而改变的效应，无剂量阈值。　（撰写：李延义　审订：孙世荃）

fushe tance guangdian beizenguan

［辐射探测］光电倍增管　photomultiplier tube for radiation detection　由光电发射阴极和电子倍增器组成的，能把光信号转换成电信号的一种真空光敏管（见图）。它的工作过程是：光子入射到光电阴极上产生光电子；光电子通过电子光学输入系统进入二次发射倍增器，电子数得以倍增；阳极收



光电倍增管示意图

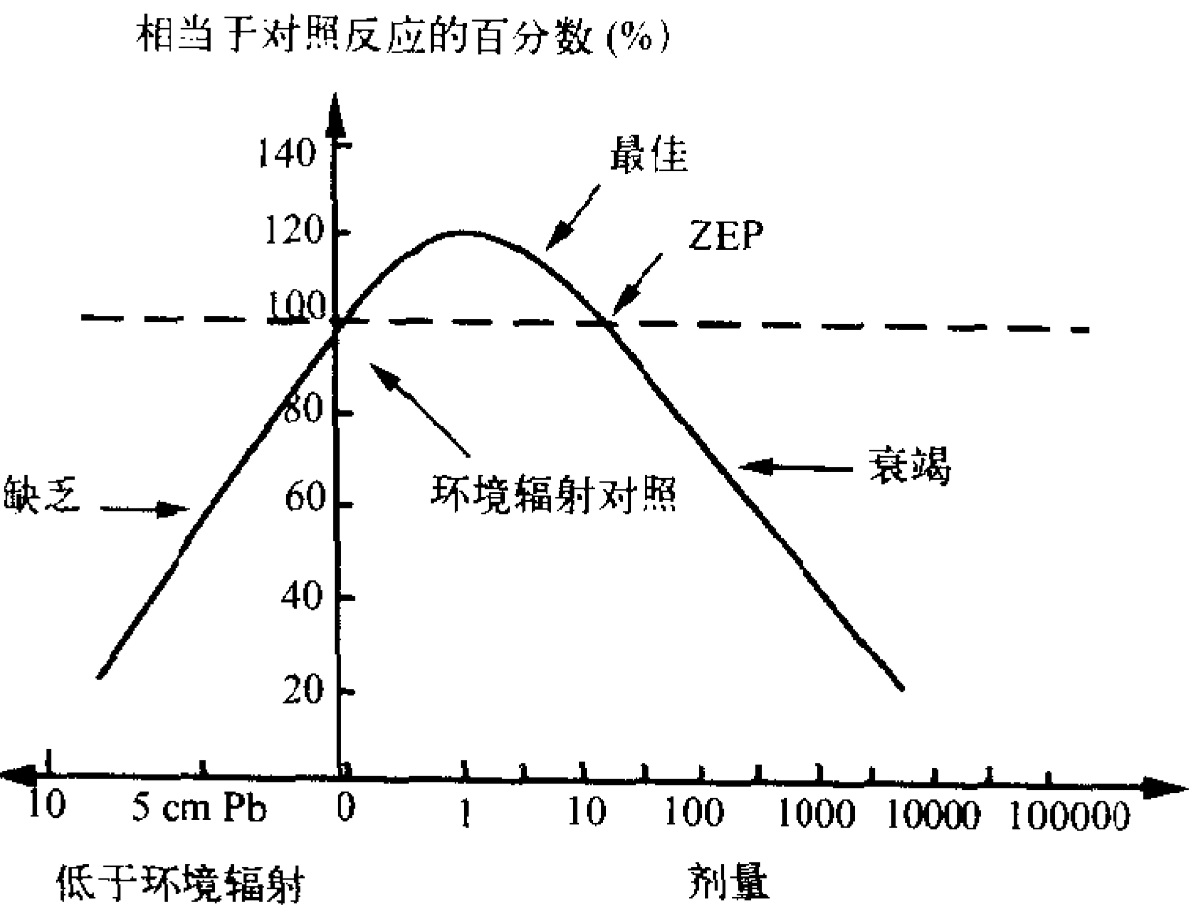
1～12 —倍增极；K —光电阴极；A —阳极；F —聚焦电极

集电子，形成阳极电流或电压信号。光电倍增管由光电阴极、电子光学输入系统、电子倍增器和阳极四部分组成（见图）。光电倍增管用于微弱光的测量，是闪烁计数器、切伦科夫计数器的关键探测器件。它还用于激光探测与彩色扫描。光电倍增管按光阴极的工作方式一般分为半透明端窗或四面窗，和不透明阴极两类；按电子倍增器的结构分类，有环形聚焦式、盒栅式、直线聚焦式、百叶窗式、近网式和微通道板等类型。

（撰写：汲长松　审订：彭华寿）

fushe xingfen xiaoying

辐射兴奋效应　radiation hormesis　兴奋效应的含义是任何一种潜在有害物质或因子在低剂量时引起任一系统的刺激。它是一种普遍存在的生物现象，各种环境因子在低剂量时均有可能引起生物体的兴奋效应。目前研究较多的是电离辐射和化学因子用于诱导的兴奋效应。辐射兴奋效应是指低剂量辐射或低水平辐射对生物体或其组成部分的刺激作用。此种



假说性的“完全剂量效应曲线”

刺激作用可能对机体有益，但不能将刺激和有益等同起来。曾有人提出假说性的“完全剂量效应曲线”（见图），以表述低水平辐射诱导兴奋效应发生的剂量范围（Luckey TD，1982）。图中横坐标为剂量的对数刻度，其单位因观察对象或终点指标不同而异；纵坐标为效应的相对强度，以正常对照为100%。剂量效应曲线分为三部分，左侧为低于环境辐射的

剂量段，以铅屏蔽表示，在此种情况下效应可低于对照，认为是“缺乏”；中间为低剂量段，剂量为环境辐射水平的数倍至数十倍，引起刺激效应；右侧为高剂量段、剂量大于环境辐射水平的数百倍以上，引起机体损伤甚至死亡。曲线中段与右段交境处，即效应由高于100%回落至100%处，名为“零当量点”（zero equivalent point，ZEP），此点及曲线峰值处的剂量以及峰值的百分数均因观测对象和指标不同而异。

（撰写：刘树铮　审订：孙世荃）

fushe yichuan xiaoying

辐射遗传效应 radiation genetic effect　辐射通过对生殖细胞遗传物质的损伤使受照射者后代发生遗传性异常的随机性效应。辐射遗传效应是通过基因突变(点突变)和染色体畸变引起的。辐射遗传效应受生物种系、射线种类、剂量、剂量率、照射方式、受照射生殖细胞的发育阶段等因素影响。辐射遗传效应是从20世纪20年代H.J.Muller利用辐射诱发果蝇突变的研究开始的。当时辐射遗传学研究主要被当成是认识突变机制和获得新的生物突变的手段。战后的辐射遗传学研究主要针对日本原爆幸存者可能出现的遗传学危险开展大人群长期随访。近年研究的重点则集中于低剂量职业性照射和环境照射的辐射遗传危险估计。辐射遗传效应的危险可用直接法和间接法进行估算。国际放射防护委员会1991年给出新的供辐射防护使用的辐射遗传效应概率系数：全体人群低剂量／率照射后全部后代遗传性疾病的增加为 $10^{-2}Sv^{-1}$，对时间损失进行权重后为 $1.33\times10^{-2}Sv^{-1}$。对日本原爆幸存者后代的长期观察表明，其遗传学异常的发生率与未照射对照组间并无显著差异。当前认为，人类辐射遗传危险远不如50年前想象的那样严重。辐射致癌比辐射遗传效应更重要，环境化学诱变剂的作用比环境辐射污染更重要，但由于辐射遗传危险估计是制定职业与环境辐射防护剂量限值的基础之一，因而继续受到人们的关注。

（撰写：徐洪兰　审订：吴　企）

fusheyuan

辐射源 irradiation source　能发射电离辐射的装置和物质。就广义而言，辐射源概括了诸如天然放射性物质、可裂变材料、核裂变产物、放射性核素制品、核反应堆、带电粒子加速器，以及宇宙射线源等内容。然而在放射性同位素的应用中，习惯将γ射线探伤、放射治疗、辐射处理的高活度放射源称作辐射源。在辐射加工中，辐射源一般则专指产生高穿透力的γ放射源（如^{60}Co源），以及产生强流电子束的加速器。

（撰写：包华影　黄治俭　审订：吕延晓　杨华庭）

fushe zhencha

辐射侦察 radiation reconnaissance　为查明核爆炸后形成的放射性沾染地域（海域、空域）的γ辐射水平而进行的侦察。其任务是及时发现核爆炸放射性落下灰沉降，查明地面、水域、空域和重要军事目标的沾染程度与范围，为指挥员组织部队防护和部署在沾染区的行动提供依据。辐射侦察由受过专门训练的人员使用辐射仪（含车载、机载）实施。其行动方式分为定点监测（又称辐射监测）、方向侦察和地域侦察。定点监测主要用于发现、查明指挥所等重要目标和分队配置地域的放射性沉降过程和地面γ辐射剂量率。方向侦察主要用于查明行进路线的沾染情况，标定沾染前界、后界和最高γ剂量率地点。地域侦察用于查明行动地域（水域）的沾染情况，对空间和大面积沾染地域、水域，可用有人驾驶或遥控飞行器实施辐射侦察。

（撰写：王　坚　审订：毛用泽）

fushe zhiai

辐射致癌 radiation oncogenesis　电离辐射诱发人和动物恶性肿瘤发生与发展的作用。它是电离辐射，特别是低剂量时，对人类的最主要的远期危害。辐射诱发癌的概率随受照剂量而增加，可能没有剂量阈值，辐射致癌属躯体随机效应。电离辐射可诱发很多组织和器官的肿瘤，但各组织和器官的敏感性是不同的，常见辐射诱发的癌症有白血病、甲状腺癌、肺癌、胃癌、结肠癌和皮肤癌等。辐射致癌经历始动、促进和发展三个阶段，从始动到癌的形成有一个长的潜伏期，白血病最少2年，实体癌10年以上。辐射诱发癌的概率除与受照剂量有关外，还受辐射的种类（传能线密度即LET），照射方式（内、外、急性、慢性、分次、迁延），宿主因素（性别、年龄、体质、生理状况、遗传易感性等），环境和生活因素的复合作用等影响。低LET辐射致癌剂量与效应的关系符合线性平方模型

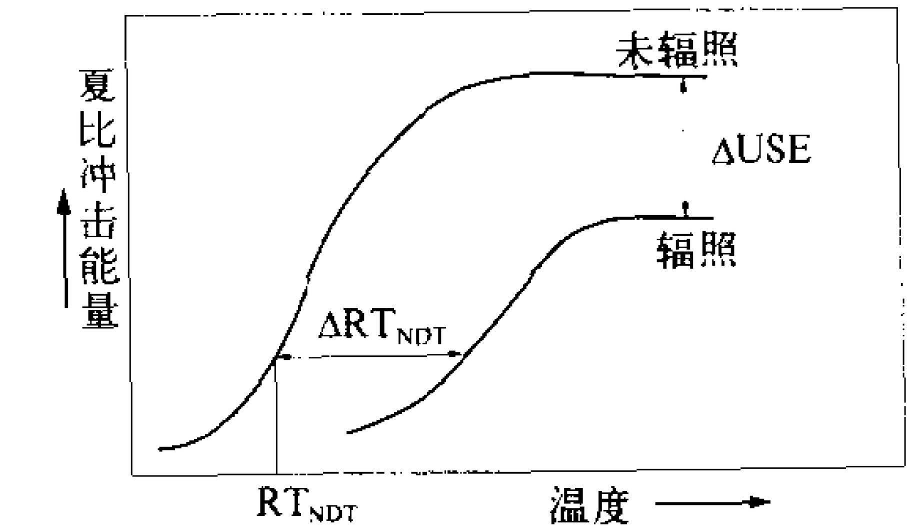
$$E = aD+bD^2$$

式中 E 为癌的发生率；D 为吸收剂量；a，b 为常数。在低剂量时以线性项为主，在高剂量时以平方项为主。高LET辐射符合线性模型。由高剂量低LET辐射效应外推低剂量的效应时，需用剂量剂量率效能因子（DDREF）校正。国际放射防护委员会根据日本广岛和长崎原子弹爆炸幸存者的资料，并设DDREF为2，估算了职业人员和公众的致死性癌症的终生危险概率系数，分别为 $4\times10^{-2}Sv^{-1}$ 和 $5\times10^{-2}Sv^{-1}$。

（撰写：王继先　审订：孙世荃）

fuzhao cuihua

辐照脆化 irradiation embrittlement　由辐照引起的材料（特别是体心立方金属）塑性、韧性下降和无延性转变温度升高的现象。影响材料辐照脆化的主要因素有中子注量、辐照温度和合金元素。产生辐照脆化的过程有两种：一种为快中子在材料内部造成的大量晶格缺陷，如空位团、位错环等，提高了位错运动所需的临界切应力，引起了材料的硬化，从而导致脆化。体心立方的铁素体钢即为一例，约在中子注量为 $10^{19}n/cm^2$ 时，参考无延性转变温度（RT_{NDT}）升高和上平台冲击韧性（USE）下降（见图）。其中 RT_{NDT} 的提高可能使反应堆压力容器由延性变为脆性。另一种过程是由材料中的合金元素（如不锈钢中的镍）与中子发生（n,α）反应生成氦，在高温下迁移到晶界形成氦泡，从而减弱晶间结合力，在拉应力作用下产生晶间脆性断裂，也称氦脆。在堆内部件设计中，辐照脆化是一个值得注意的问题。



辐照引起压力容器钢的 RT_{NDT} 和 USE 的变化

（撰写：李文琰　审订：张忠岳）

fuzhaoguo ranliao yuanjian shuntai shiyan

辐照过燃料元件瞬态试验 power transient test of irradiated fuel element　达到一定燃耗的燃料元件，从动力堆取出、截短、制成较短试件，在试验堆内进行的功率瞬态变化（功

率剧增）试验。瞬态试验的主要目的是：（1）检验已辐照至不同燃耗水平的燃料元件抵御功率迅速变化（功率剧增）的能力，为制定合理的运行规程提供依据；（2）确定已辐照元件由于芯块与包壳相互作用（PCI）而发生破坏的阈值。目前，燃料元件在稳态运行或功率小幅度缓慢波动情况下的工作性能，一般可由随堆运行进行检验。但对于功率变化快，幅度大的瞬态试验，出于安全考虑，只能在试验堆中的专设装置上进行。

（撰写：张忠岳　审订：黄玉才）

fuzhaoguo ranliao yuanjian zaizuzhuang

辐照过燃料元件再组装 reconstitution of irradiated fuel rod 将已辐照至一定燃耗水平的燃料元件，从动力堆中取出，截短，制成适合于在实验堆试验装置中进行瞬态试验的试验棒（试验元件）的过程（参见*辐照过燃料元件瞬态试验*）。以轻水堆燃料棒为例，它可包括：（1）将已辐照至某一燃耗值的全长度轻水堆燃料棒从动力堆取出；（2）对长燃料棒，刺孔测定内压，作裂变气体成分分析；（3）将长燃料棒截短成若干段，对各短棒作无损检查（如γ扫描，涡流检查，轮廓仪检查等）；（4）为短棒配装新端塞，焊接后作短棒的密封性试验，重新充入从长棒中取出的裂变气体和氦气；（5）对完成再组装后的试件作全面无损检查和中子照相。

（撰写：张忠岳　审订：黄玉才）

fuzhaohou jianyan

辐照后检验 post-irradiation examination 为评估辐照后燃料和材料的性能及其变化规律所进行的观察、测量和分析等检查验证。辐照后检验的对象是燃料组件、堆芯结构材料和其他强放射性的部件及材料。辐照后检验的目的是验证选材、设计、制造及堆内运行制度，研究其堆内行为和性能变化规律，积累辐照后性能数据，找出破损和失效的原因。辐照后检验分无损检验和破坏性检验两类，前一类主要包括外观检查、尺寸测量、涡流探伤、X射线照相、γ射线扫描、泄漏检查等；后一类主要包括裂变气体释放量测量、金相及图像分析、密度测量、X射线衍射分析、扫描电镜和电子探针分析以及力学性能（包括拉伸、蠕变、内压爆破和冲击）等试验，检验前需进行组件解体及样品切割。由于辐照后的材料有很强的放射性，辐照后检验必须在有射线屏蔽、与环境隔离、密封的热实验室内进行（参见*材料检验热实验室*）。

（撰写：王树人　审订：李文埮）

fuzhao jianduguan

辐照监督管 irradiation monitoring tube 用于监督和预示反应堆压力容器材料受中子辐照后材质发生变化的装置。反应堆压力容器材料和焊接材料受快中子辐照后，会产生晶格点阵缺陷，从而改变材料的力学性能：强度升高，韧性降低，无延性转变温度（T_{NDT}）升高。辐照监督管是将压力容器的母材和焊缝材料做成材料试验样品装入不锈钢管内，样品沿堆芯活性段高度方向布置，并被固定在堆内构件吊篮筒体外侧。由于它紧靠堆芯，比实际压力容器经受更强的中子辐照，因而可提早预示监督压力容器材质的辐照损伤程度。在反应堆设计使用寿期内，可以按计划在停堆换料期间利用专用工具将它抽出，送到热室进行解体，进行性能测试和分析，来判断反应堆压力容器的材质劣化倾向，保证压力容器使用安全可靠。

（撰写：杜圣华　审订：潘系人）

fuzhao qianghua

辐照强化 irradiation strengthening 又称辐照硬化。金属材料在快中子辐照下，屈服强度、抗拉强度和硬度提高的现象。辐照在金属材料内产生了大量的点缺陷、空位团（贫原子区）、位错环和杂质原子等，使点阵发生畸变。畸变了的点阵使位错运动所需的临界切应力增大，并且位错运动受滑移面上障碍物的阻挡，材料变形受到阻碍，从而使材料得到强化。辐照强化与辐照剂量和温度有关。对于奥氏体不锈钢，在中子注量低于 10^{21} n/cm^{2}时，辐照损伤主要来源于贫原子区。当温度低于$T_m/2$（T_m为熔点）时，因部分缺陷得到回复而强化效果减弱。当温度高于$T_m/2$时，强化效果消失。中子注量高于 10^{21} n/cm^2 时，位错环和空洞尺寸较大，强化效果不易消除，只有当温度高于(2/3) T_m时，强化效果才可完全消除。当温度高于 800℃ 时，辐照引起的缺陷只剩下氦泡，不足以产生可观的强化，但延伸率的损失不能恢复。

（撰写：张汝娴　审订：李文埮）

fuzhao rongqi

辐照容器 irradiation capsule 在研究堆内为研究燃料和结构材料的堆内性状而制备的容器。它安装在研究堆的试验孔道中，提供试验件所需的辐照条件（如中子注量率、温度等）。试验件可由核裂变热、γ热或电热元件加热，其温度由容器壁气隙大小、充氦压力及冷却剂流量进行调节。容器材料为奥氏体不锈钢、锆合金或铝合金。为在线测量试验件的堆内性能数据，通常在容器中装有堆芯仪表、如热电偶、压力传感器、变形传感器等，这种容器又称为仪表化辐照容器。为改善辐照容器的传热条件，在容器内可充高压水、Na-K 合金或He。因此容器的种类又分为压水型辐照容器、钠钾型辐照容器和充气型辐照容器。（撰写：黄玉才　审订：李文埮）

fuzhao rubian

辐照蠕变 irradiation creep 长期在辐照和高温环境中受恒定低应力作用下的材料（或构件）所发生的变形不断增大现象。辐照蠕变分为仅由辐照引起的蠕变和辐照增强热蠕变两类。前者称辐照感生蠕变，后者称辐照加速蠕变。产生辐照蠕变的机制有许多种，最合理的解释是：材料在辐照时，过饱和空位和填隙原子在应力的作用下向位错迁移，增加了位错的攀移速率，从而增强了蠕变。常用的核燃料如金属铀、UO_2，结构材料如锆合金、不锈钢等都有辐照蠕变现象，其蠕变速率比未辐照的可增大一个数量级。

（撰写：李文埮　审订：张忠岳）

fuzhao shaojie

辐照烧结 irradiation sintering 陶瓷核燃料内部的残留气孔在中子辐照和表面能的驱动下发生收缩，使块体密度提高的现象。这是陶瓷燃料（如UO_2等）在使用中产生尺寸不稳定的一种机制。但与辐照肿胀、辐照蠕变相比，辐照烧结对燃料使用的影响较小。常用的预防措施是采用高温烧结来消除烧结块中的残余气孔。（撰写：李文埮　审订：张忠岳）

fuzhao shipin de weisheng anquanxing

辐照食品的卫生安全性 wholesomeness for irradiation food 经电离辐射加工处理的食品在营养质量、毒理学和微生物学方面的安全性。对辐照食品的卫生安全性评价始于20世纪70年代。在经过长期大量实验研究的基础上，世界权威性国际

组织（FAO/IAEA/WHO）辐照食品卫生安全性联合委员会(JECFI)于1980年作出了“关于辐照食品可接受性的结论：任何食品的辐照，直到总平均剂量10 kGy都没有毒理学危害，也无特殊营养学或微生物学问题，因而不必再进行毒理学试验”。1983年国际食品法典委员会（CAC）对这一结论表示认同。1997年上述国际组织的高剂量研究小组进一步提出，超过10 kGy辐照的食品也是安全的。1999年FAO/IAEA/WHO发表的联合公报指出，在当前技术可达到的任何剂量下，辐照食品不存在毒性问题，并在营养学方面也是适宜的。目前这一结论正提交CAC法典委员会审订。

（撰写：包华影　审订：吕延晓）

fuzhao shiyan huilu

辐照试验回路 loop for irradiation test　研究堆内专门为研究动力堆燃料(包括单棒和组件)的稳态和瞬态性状设置的带有单独冷却系统的试验设施。它通常由堆内和堆外两部分组成。堆内部分又称辐照装置，主要包括压力管部件和各类探测器（如压力传感器、变形传感器、铠装热电偶及自给能探测器等）。它安装在研究堆的试验孔道内，其功能为提供所需的辐照条件，测量试验件的辐照参数和性能。压力管部件属核承压部件，一般由奥氏体不锈钢或锆合金制成。堆外部分包括冷却剂管道、泵、稳压器、热交换器、冷却剂净化装置及燃料破损监测装置等。它的功能是排出燃料裂变热和材料γ释热，保持冷却剂循环，以满足所需的温度、压力及水化学等条件。为保证试验回路的正常运行，不影响研究堆的安全，回路系统还装备有安全注水系统和剂量仪表系统，设定回路运行参数限值的信号反馈报警系统和联锁的停堆系统。

（撰写：黄玉才　审订：李文埮）

fuzhao wendingxing

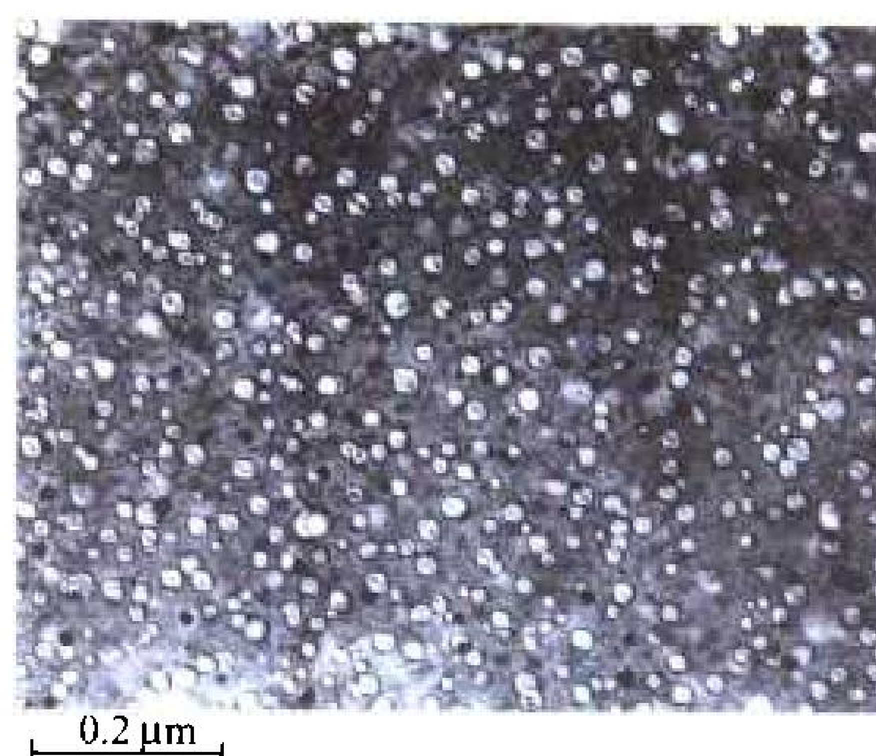
辐照稳定性 radiation stability　高放射性废物固化体抵御辐照作用各种影响的能力。固化体的辐照损伤主要来自所包容的放射性核素的α，β和γ衰变，高放废液玻璃固化体将长时期经受这种照射。α辐照是最重要的辐照，α辐照可能引起的有害影响包括：(1)α反冲核撞击原子使其位移而释放能量并导致温度升高；(2)α衰变产生的氦气在固化体内积存，可能使固化体产生微裂纹；(3)浸出率增加；(4)体积变大等。研究表明，人造岩石固化体具有最好的辐照稳定性，适合包容锕系元素和高燃耗乏燃料元件后处理产生的高放废液。玻璃固化体具有较好的辐照稳定性，满足包容高放废液的需要。

（撰写：汤宝龙　审订：罗上庚）

fuzhao zhongzhang

辐照肿胀 irradiation swelling　材料在中子辐照下产生体积膨胀、密度降低的现象。中子注量和辐照温度是影响材料辐照肿胀的主要因素。按辐照肿胀机制划分，有裂变产物肿胀和空洞肿胀两类。裂变产物有固态和气态两种，据估算，每裂变1%原子分数，由固态裂变产物造成的燃料体积肿胀约0.3%～0.9%；气态裂变产物氪、氙原子在燃料（如铀、UO_2）中的溶解度很小，易在位错、晶界等缺陷处形成气泡，在高温下它们迁移、合并、长大，引起燃料肿胀。某些材料（如B_4C）由(n,α)反应生成的氦也同样造成肿胀。

空洞肿胀在快堆燃料包壳和聚变堆的第一壁材料中最为典型。高能中子在材料内产生大量离位原子，形成过饱和的填隙原子和空位。由于填隙原子容易迁移，与位错又有较大的亲合倾向，因此过量的空位便凝聚，形成空洞(见图)，从而造成材料肿胀。空洞肿胀现象存在一个中子注量阈(10^{22} n/cm^2)和肿胀峰值温度(约为熔点的0.4～0.6倍)。当中子注量高于该阈值时，材料开始肿胀，随后肿胀急剧增大。



中子辐照304不锈钢形成的空洞

已发现，金属燃料在肿胀到33%（体积）时，因气孔发生连通，裂变气体迅速逸出而不再产生气体肿胀；对结构材料，在高剂量下辐照肿胀依然存在。配制新型合金如HT-9铁素体不锈钢是减少空洞肿胀的有效途径。适度冷加工和添加钛也可以提高奥氏体不锈钢的抗肿胀能力。

（撰写：李文埮　审订：张忠岳）

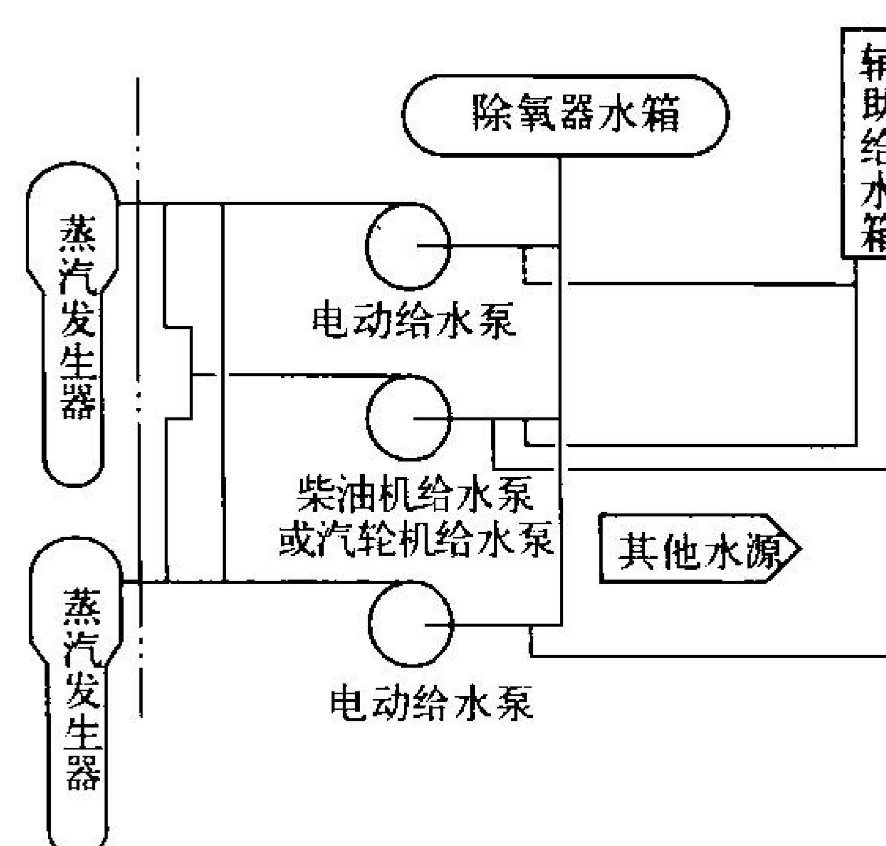
fuzhao zhuangzhi

辐照装置 irradiation facilities　利用辐射源对材料或物品实施大剂量可控照射的装置。辐照装置一般由辐射源、传输系统、控制系统、辐照室、贮源室、安全屏蔽系统及辅助设备组成，其核心是辐射源和传输系统。在辐射加工中，辐照装置常按辐射源的类型不同而分为放射性同位素γ辐照装置（如^{60}Co装置）和电子加速器辐照装置。为了保证产品加工质量，对辐照装置的性能要求主要是，提高辐射源的辐射利用率和改善受照产品剂量的均匀性。辐照装置中的安全屏蔽系统和安全控制系统，如防护墙、迷宫、连锁装置，报警设施等，则是确保人员和环境免受电离辐射危害必不可少的基本前提。

（撰写：包华影　审订：吕延晓）

fuzhu jishui xitong

辅助给水系统 auxiliary feedwater system　主给水系统不能工作时为防止蒸汽发生器烧干和堆芯失去冷却而向蒸汽发生器应急供水的系统。本系统兼作反应堆主给水系统的后备系统，在反应堆启动、热备用或停堆时向蒸汽发生器供水。新一代压水堆核电厂大多设有独立的启停堆给水系统，此时本系统只在事故工况下执行安全功能，因此又称应急给水系统。本系统应满足多重性和多样性准则的要求，通常设有两台电动辅助给水泵和一台或两台柴油机驱动或汽动辅助给水泵（见图）。



辅助给水系统示意图

每台辅助给水泵的容量足以单独排出反应堆的全部剩余释热。辅助给水泵的水源和泵一样要求多样化，可用的水源有：辅

助给水箱、除氧器水箱、二回路除盐水箱和消防水池等。且至少有一个水源需按抗震1类设计。

（撰写：张维忠　审订：杜圣华）

fushi pilao

腐蚀疲劳 corrosion fatigue 在交变应力和腐蚀介质协同作用下引发的材料破坏现象。它受电化学、冶金及各种力学因素的影响。腐蚀疲劳是一种累积损伤过程，没有明显的预兆，往往在屈服应力以下以脆断方式发生。在反应堆中，小到冷却剂回路的泵、阀，大到蒸汽发生器，都有可能发生这类事故。腐蚀介质对疲劳极限及裂纹扩展性状的影响主要表现在：(1)疲劳强度下降，疲劳极限消失；(2)疲劳过程中的腐蚀对降低疲劳强度更重要；(3)增加疲劳裂纹扩展速率，降低门槛值；(4)应力频率对腐蚀疲劳损伤过程有很大影响。据分析表明：裂纹尖端区力学—化学过程中液体扩散、膜的破裂和钝化等反应对腐蚀疲劳裂纹扩展过程起决定作用。常见的活化态腐蚀疲劳形貌为：表面成群产生半圆形蚀坑及坑底裂纹，并以穿晶或沿晶方式向内部扩展；裂纹呈楔形，外宽内狭，常充满腐蚀产物;裂纹尖端不分叉，有别于应力腐蚀疲劳。防止腐蚀疲劳可采取合理选材、涂层、渗层表面防护、电化学保护及降低压力等措施。

（撰写：谢惠佑　审订：李文琰）

fu β shuaibian

负β衰变 negative β decay 见β衰变。

fuhe genzong yunxing fangshi

负荷跟踪运行方式 load following operating mode 核动力装置输出功率随负荷的要求或频率的变化而变化的运行方式。电网中为了适应电力消耗的变化，部分核动力装置的输出功率要随负荷要求而变化（调峰或调频）。常见的12-3-6-3的运行方式（12 h满功率，3 h降负荷，6 h低功率，3 h升功率）是负荷跟踪运行方式的一例。

（撰写：田树全　审订：唐富初）

fuhehe fanying

复合核反应 compound nuclear reaction 入射粒子进入靶核而形成复合核，复合核处于统计平衡状态的反应。该反应的条件是复合核有一定的寿命，核子间通过相互碰撞进行充分的能量交换。对于中子的复合核反应，在低入射能时，如在eV～keV能区，截面出现窄而强的分立的共振峰，为可分辨共振区。随着中子能量提高，由于共振峰宽度变宽且能级间距变小，不再能清晰地分清每个共振，这一能区称之为不可分辨共振区。当中子入射能量继续提高时，反应截面呈现平滑变化，称之为平滑区。但在平滑区进行高能量分辨率实验测量时，也可得到截面的涨落行为。这种涨落分为3类：能级宽度涨落、能级间距涨落以及反应截面涨落。这些涨落现象反映了核反应的统计行为，可以揭示出核反应机制或核结构方面的信息。（撰写：张竞上　审订：许谨诚）

fuhehe moxing

复合核模型 compound nucleus model 用来描述复合核反应的理论模型。它由尼·玻尔于1936年提出。复合核反应过程分为两个阶段：(1)吸收阶段。入射粒子进入靶核与靶内核子发生相互作用，并将能量分配到靶内核子而到达统计平衡，形成复合核。(2)衰变阶段。复合核处于激发态，是不稳定的状态。核子间不断发生碰撞和能量交换，按不同概率以多种可能的反应道发生衰变。由于复合核的寿命较长，经过大量的核内碰撞过程后，被发射粒子早已"忘掉"当初形成复合核的历史。因而复合核的形成与衰变可以看成是两个相对独立的过程。复合核体系处于热平衡或接近热平衡，满足各态历经和无规相位的假设。而这种平衡特征给出平衡态的能谱形状。复合核状态下发射的中子能谱接近于麦克斯韦谱，是上述假定的一个证据。复合核衰变要经过较长的时间，伴随的反应截面随中子能量的变化显示涨落行为，这种行为具有统计的无规性。目前对复合核反应的研究分两个方面，一方面是研究截面和角分布的平均行为；另一方面是研究围绕平均值的统计涨落规律。

（撰写：张竞上　审订：许谨诚）

fuheqi

复合器 recombiner 一种通过催化或加热方法，使H_2和O_2发生可控复合反应的设备。反应堆运行过程中，水和重水经辐照会分解成H_2，O_2，D_2等气体，这些气体达到爆炸限值后极易爆炸，必须经复合器在可控条件下进行复合反应。

（撰写：刘春秀　审订：贾　明）

fujidu

富集度 enrichment 经过加工，使某种同位素在其元素中的质量丰度超过自然界中原有值的程度，又称浓缩度。天然铀中^{235}U的丰度只有0.71%，目前大部分动力堆和研究堆多采用富集铀（浓缩铀）作燃料，即其中的^{235}U丰度超过0.71%。

（撰写：史永谦　审订：罗璋琳　许汉铭）

fuji yinzi

富集因子 enrichment factor 又称浓缩因子。等于分离因子减1。只要有分离效应，分离因子都是大于1的正数，等于1则没有分离效应。因此我们感兴趣的是大于1的那部分，故引入浓缩因子ε。定义$\varepsilon^+=\alpha-1$，$\varepsilon^-=\beta-1$，α，β分别是浓化分离因子和贫化分离因子，ε^+和ε^-分别是浓化浓缩因子和贫化浓缩因子。引入浓缩因子给分析计算带来方便。

（撰写：蒋同远　审订：刘广钧）

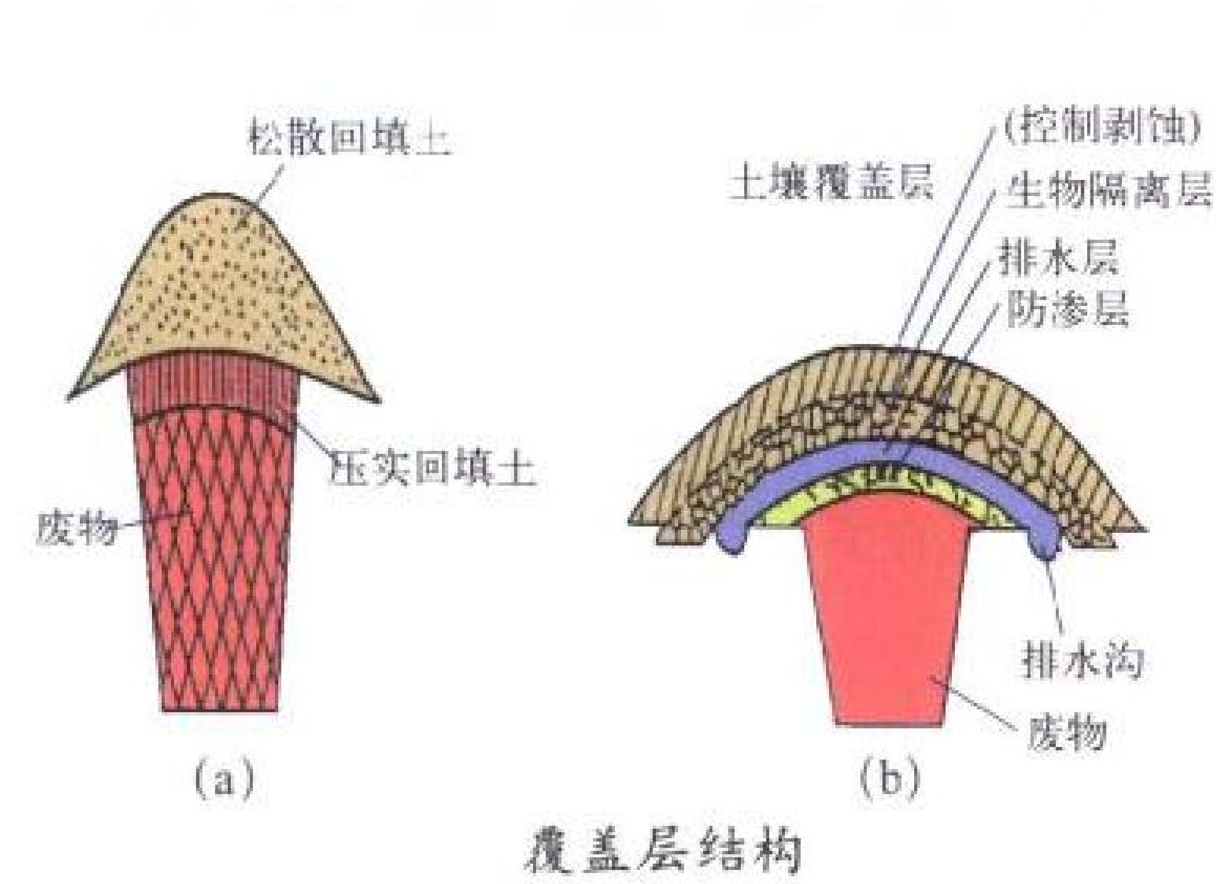
fuji you

富集铀 enriched uranium 又称浓缩铀、加浓铀。^{235}U的含量高于天然丰度0.71%的铀元素或铀化合物。^{235}U的含量高于0.71%又低于20%的浓缩铀称为低浓铀。^{235}U的含量大于20%的浓缩铀称为高浓铀。浓缩铀按^{235}U的含量不同应用在以下各种情况：核电厂轻水堆：2.5%～5% ^{235}U；核武器：> 90% ^{235}U。浓缩铀是经过分离工厂进行铀同位素分离而获得的。

（撰写：应纯同　审订：刘广钧）

fugaiceng

覆盖层 cover 当放射性废物货包在处置单元内放满并用回填材料充填其空隙后所有覆盖物（包括顶板）的总称。它是中低放废物处置工程屏障的重要组成部分。覆盖层有4种主要作用：(1)防止地面水的渗入和地下水的蒸散；(2)阻滞核素迁移；(3)防止生物侵扰；(4)防止水土流失和风化剥蚀。覆盖层可由一种材料或多种材料组成。由此，覆盖层相应地分为单层结构和多层结构（见图）。单层结构的覆盖层



覆盖层结构

(a) 有一层压实回填土的覆盖层； (b) 多层覆盖层结构示意图

一般为渗透系数较小的材料，经压实后密封性较好，但水一旦透过就不易排出，且密实土壤利于植物扎根和动物作穴；而多层结构的覆盖层则消除了这些缺点。多层结构覆盖层一般有6～7层。自上而下为：(1) 植被层，可防止水土流失和风化剥蚀；(2) 回填层，可支撑植被层并有防水作用；(3) 排水层，用粗粒级卵石和砾石铺设，有排水和防动植物侵扰作用；(4) 防渗层，用渗透系数极小的黏土铺设；(5) 导水层，用石英砂或小砾石铺设，当少量水透过防渗层后，可将透过的水导向两侧而不再下渗；(6) 回填材料层，可阻滞核素迁移；(7) 顶板，起防水和支撑作用。覆盖层总厚度一般不小于5 m。

（撰写：谷存礼　审订：陈 式）



γ cejing

γ测井 γ logging(log) 采用γ总量或γ能谱仪沿钻井移动，测量井壁岩（矿）石的γ辐射强度，进行地质研究和矿产资源（铀、金、油气藏等）勘查的方法。γ测井分为γ总量测井和γ能谱测井，分别用于研究钻井壁岩（矿）石的总γ辐射强度和铀、钍、钾含量的测定。γ测井的测量方式分为静态点测和动态连续测量。γ测井资料主要用于确定地下铀矿体的分布特征（含矿体范围、埋深、铀钍含量、矿体厚度等）。特别是在含矿段岩芯采取率不高或进行无岩芯钻的情况下，γ测井资料更为重要。影响γ测井的因素有：钻井中泥浆和套管对γ射线的吸收，铀镭平衡破坏，氡的逸出和氡的衰变产物在钻井壁上的积累等。 （撰写：蒋永一 审订：李家俊）

γ dao

γ刀 γ knife 一种立体定向的放射外科治疗设备。γ刀的工作原理是利用准直器将多个密封^{60}Co放射源的γ射线聚焦于病变组织的中心，通过电离辐射生物效应破坏或抑制病变组织，从而取得不开刀、不出血的手术切除效果，而且对病变周围的正常组织损伤轻微或并不造成损伤。γ刀的主要临床应用为颅内功能性疾患（如帕金森综合症），动静脉畸形与各种颅内肿瘤等的治疗。 （撰写：王荣福 审订：吕延晓）

γ fushe quyang

γ辐射取样 γ radiation sampling 用γ辐射仪定量地测量矿（岩）石中铀含量以确定矿体厚度、矿化特征，并圈定矿体，指导掘进与回采工作的一种物探测量方法。根据记录射线的种类和测量方法的不同可分为：(1) 在钍含量小于0.005%，铀镭趋于平衡或平衡破坏虽偏铀但规律较强的铀矿体，采用γ辐射取样法；(2) 在钍含量小于0.005%，铀镭平衡破坏明显偏铀的矿体，采用β-γ辐射取样法；(3) 在U-Th混合矿体，要分别测定铀、钍含量，采用γ能谱辐射取样法。

（撰写：刘则尧 审订：李开文）

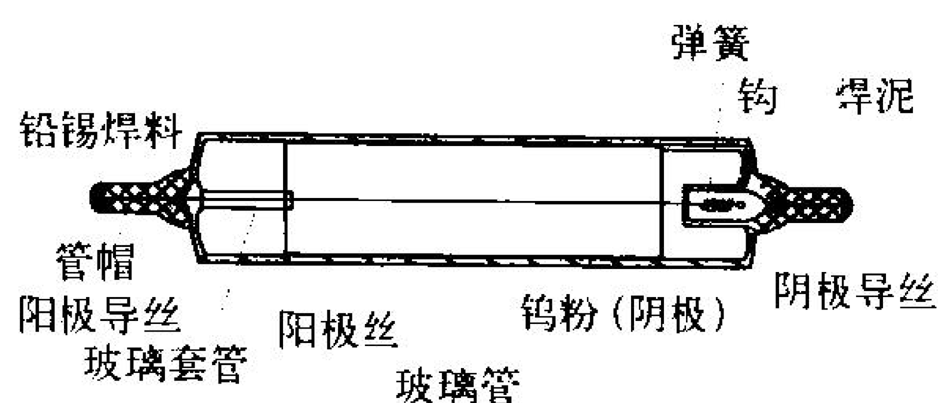
γγ jiaoguanlian

γ-γ角关联 γ-γ angular correlation 某一原子核接连地放出两个γ光子的概率与这两个γ光子发射方向的夹角有关的现象。角关联的起源是极化原子核发射γ光子的概率各向异性。普通放射源中原子核的自旋方向是杂乱的，没有一定取向，各原子核辐射的角分布混杂在一起，总的效应表现出各向同性的分布。如果原子核接连地放出两个γ光子（例如γ_1和γ_2），可任意选择一个方向来记录γ_1，由于γ辐射的各向异性，只有自旋有某种取向的原子核，在这个方向发射γ_1的概率才最大。这样，在一定方向上观测γ_1就等于把那些自旋有某种取向的原子核挑选出来了。这些挑选出来的原子核接连地发射γ_2，当然会呈现出一定角分布。因此，γ_1和γ_2之间出现了角关联。将实验测得的角关联曲线和理论计算的角关联函数进行比较，可以获得有关核能级和辐射性质的知识。

（撰写：施兆民 审订：卢希庭）

γ jishuguan

γ计数管 γ-ray counter 用于测量γ射线强度的盖革计数管。它有卤素γ计数管和有机γ计数管两种，一般为圆柱形结构（见图）。入射的γ射线在管壁上击出次级电子，次级电子使



γ计数管示意图

计数管气体电离并引起雪崩放电。其探测效率与计数管壁的材料有关，用原子序数大的管壁材料可以提高γ计数管的探测效率。 （撰写：肖文明 审订：彭华寿）

γ neizhuanhuan

γ内转换 γ internal conversion 见γ跃迁。

γ pu fenxi

γ谱分析 γ spectrum analysis 利用γ谱仪监测特征γ射线的办法来测量样品中γ核素种类和水平的一种测量分析方法。大多数核素在衰变过程中都伴随发射具有特征能量的γ射线，其中少数核素发射单条γ射线，其他则发射多条至数十条γ射线。γ谱分析就是用γ谱仪对测量得到的能谱进行分解。常用的γ谱仪有NaI(Tl)γ谱仪和HpGeγ谱仪，前者的分辨率较低，仅适合同时分析少数几个单能γ核素，后者分辨率高，可同时分析多个多γ核素。γ谱分析实质上是对特定γ能量的全能峰参数进行分析。该全能峰一般为正态分布或改进型正态分布，峰参数包括峰位置、半高全宽和全能峰面积，分别表征被测γ射线的能量、谱仪的分辨率和与核素量相关的参数。常用的谱分析方法是逆矩阵法和最小二乘法。谱分析识别核素和确定全能峰面积后，还需根据全能峰的效率确定核素的量。全能峰效率的确定需根据测量的核素和介质类型、几何条件等选择用于谱仪刻度的参考核素或样品，其几何条件应与被测对象完全一致。对于NaI(Tl)γ谱仪，用于确定特征道区效率的核素必须与被分析核素完全一致；对于HpGeγ谱仪，用于全能峰效率刻度的核素可以与被测对象不同，被测对象的γ全能峰效率可以通过拟合的效率曲线得到，但在测量过程中均需考虑符合相加改正。如果刻度用参考样品和被测样品介质差异较大，测量时还需考虑自吸收改正。

（撰写：黄治俭 审订：赵亚民）

γ shanshuo zhaoxiangji

γ闪烁照相机 γ scintillation camera 简称伽玛相机。用大型闪烁探头自体外对受检脏器或组织照相，进行静态及动态的二维显像检查和功能测定的核医学诊断装置。它主要由探

头（伽玛闪烁探测器）、计算机、显示记录装置和显像床四部分组成。伽玛相机的类型有移动式、多晶体式，模拟式，数字式照相机和全身伽玛相机。临床核医学将放射性药物通过一定途径引入体内后，伽玛相机中的闪烁探测器接收到的体内发出的核射线，形成定位脉冲信号，由计算机采集处理和显示人体的放射性核素分布的图像。与扫描机相比，它没有机械扫描部分，成像所需时间短，可自动连续拍摄照片，能显示人体放射性核素分布的动态变化。因此，它具有高灵敏度、高分辨率和快速成像的特点，并可同时通过一次成像得到某些脏器的静态影像，有利于疾病的诊断。γ闪烁照相机主要用于心、脑、肾等器官的动态功能研究，甲状腺、肺、脑、心、肾和骨骼疾患及其他病变的诊断。（撰写：王荣福　审订：吕延晓）

γ shexian nengpu celiang he γ shexian puyi

γ射线能谱测量和γ射线谱仪　γ-ray spectrum measurement and γ-ray spectrometer　记录γ射线强度随其能量变化的一组操作。通常应用的闪烁探测器（如NaI(Tl)加光电倍增管），称γ射线闪烁谱仪。特点是谱仪组成简单，使用方便，探测效率高，但测量精度不高，主要用于工业、核医学和某些物理实验。另一类称半导体探测器，如高纯锗探测器（称HPGe γ射线谱仪），特点是能量分辨好，测量精度高，缺点是需要工作在77 K，效率较前者低。由于γ射线与物质相互作用时，可能产生光电效应、康普顿效应和电子对效应，γ探测器直接记录到的是γ射线脉冲幅度谱。在γ射线脉冲幅度谱上，对于同一能量的γ射线可能产生全能峰、单逃逸和双逃逸峰以及连续的康普顿峰，因此γ射线脉冲幅度谱比真实的γ射线能谱要复杂得多。通常要将所测量的γ射线脉冲幅度谱，经过解谱才能得到所需要的γ射线能谱。因为具有不同能量的γ射线与物质相互作用时有不同的电离辐射性能和穿透能力，从而精确测定γ射线能谱对核物理研究，核反应堆和核武器的设计以及辐射防护和保健物理的研究等都有重要的价值。通过γ射线能谱测量还可以做核纯分析或某些核素的含量分析。（撰写：丁声耀　审订：容超凡）

γ shexian yu wuzhi de xianghu zuoyong

γ射线与物质的相互作用　interaction of γ-ray with matter　γ射线穿过宏观物质时与其原子的电子和核发生的相互作用。与电子的作用主要是光电效应、康普顿效应和电子对产生。在极低能量时还有瑞利相干散射和汤姆孙散射。与核的作用有核共振散射（穆斯堡尔效应），能量超过核反应阈能（6～7 MeV）时，还发生光核反应。发生光电效应时，γ光子与原子的束缚电子发生作用，把全部能量交给该电子，使其克服结合能而离开原子，而光子自身消失。康普顿效应是γ光子与自由电子（原子的外层电子可视作自由电子）发生散射，γ光子把部分能量和动量传递给电子，散射光子改变能量和运动方向。当γ光子能量大于电子和正电子的静止质量之和（1.022 MeV）时，在原子核的库仑场的作用下，发生电子对产生效应，光子转变为一对电子和正电子，其动能和为γ光子能量与1.022 MeV之差。实际上，当物质的尺寸较大时，可发生复杂的多次级联过程。如康普顿散射光子会继续发生新的相互作用；电子或正电子可由韧致辐射过程而发出新的γ光子；正电子在物质中发生正电子湮没，转换为γ光子。这些过程一直进行到它们离开物质或者消失。各种核装置的剂量计算和屏蔽设计，以及人体的辐照效应的研究等，都必须考虑这种γ光子与电子在物质中的联合输运过程。目前已经开发有大型数值模拟计算程序，可对此进行精确的计算。（撰写：许谨诚　审订：丁大钊）

γ shuaibian

γ衰变　γ decay　见γ跃迁。

γ shuaibian jiaofenbu

γ衰变角分布　angular distribution of γ decay　原子核发射γ射线时，当γ射线方向与核自旋方向夹角不同时其发射概率也不同，即发射γ射线相对于原子核自旋方向是各向异性的，这称为γ衰变的角分布。在通常情况下，对于一定的放射性样品，其中各原子核的自旋方向在空间是随机分布的，无一定取向。各原子核发射的γ射线是叠加在一起的，故观察不到γ射线的各向异性。为观测到原子核γ射线的各向异性，有两种办法，一是使样品中原子核极化，即使原子核自旋倾向于按一定方向取向。另一种方法是从样品中挑选出一定自旋取向的原子核。由于γ跃迁多极性不同，射线角分布也不同，故由γ射线角分布研究可获得γ跃迁多极性知识，从而也可获得核能级自旋、宇称等知识。（撰写：施兆民　审订：卢希庭）

γ tuiji

γ退激　γ deexcitation　见γ跃迁。

γ yueqian

γ跃迁　γ transition　又称γ退激或γ衰变。处于激发态的原子核通过发射γ射线或内转换电子到较低能态或基态的过程。γ跃迁前后，母核、子核的质子数和中子数保持不变，即不产生新的核素。原子核的激发能也可直接交给原子核所处原子的壳层电子实现退激，同时发射壳层电子（内转换电子），这种过程称为内转换。发生γ跃迁的条件是：初态与末态的能量、自旋、宇称与所发出的γ光子所带走的能量、角动量、宇称等必须满足能量守恒、角动量守恒以及宇称守恒。（撰写：唐国有　审订：卢希庭）

γ yueqian de duojixing

γ跃迁的多极性　multipolarity of γ transition　原子核γ跃迁的电或磁辐射及跃迁的多极级。根据L的不同值，把γ辐射分成不同多极级。$L=1$叫偶极辐射，$L=2$叫四极辐射，$L=3$叫八极辐射，一般地称为2^L极辐射。γ辐射宇称的奇偶性与L奇偶性相同称为电多极辐射，用EL表示。γ辐射宇称的奇偶性与L奇偶性相反称为磁多极辐射，用ML表示。研究原子核γ跃迁的多极性，可确定原子核跃迁前后角动量、宇称的变化。从而可获得原子核能级特性的知识。（撰写：施兆民　审订：卢希庭）

γ yueqian xuanze dingze

γ跃迁选择定则　selection rule of γ transition　对给定的原子核始、末态的自旋和宇称，γ跃迁的多极性所遵从的规则。对于自旋为I_i宇称为π_i的始态至自旋为I_f宇称为π_f的末态的γ跃迁，根据角动量守恒，光子带走的角动量L可取下列数值：

$$L=|I_i-I_f|, |I_i-I_f|+1, \cdots, I_i+I_f \quad (1)$$

根据宇称守恒定则，光子带走的宇称π_γ由下式决定

$$\pi_\gamma=\pi_i/\pi_f \quad (2)$$

由跃迁概率数量级的比较，有下面3点结论：（1）同级的电

跃迁快于磁跃迁；(2) 多极级越低，跃迁越快；(3) 一般而言，磁 L 级跃迁的概率与电 $L+1$ 级的跃迁概率有相同数量级。由 (1)、(2) 式和跃迁概率数量级的比较，可以得出始态 $|I_i,\pi_i|$ 至末态 $|I_f,\pi_f|$ 的跃迁选择定则（见表）。表中 ΔI 和 $\Delta\pi$ 分别表示始末态角动量和宇称的变化，括号内的跃迁多极性表示有可能与括号前的跃迁同时出现。

始态和末态的γ跃迁选择定则

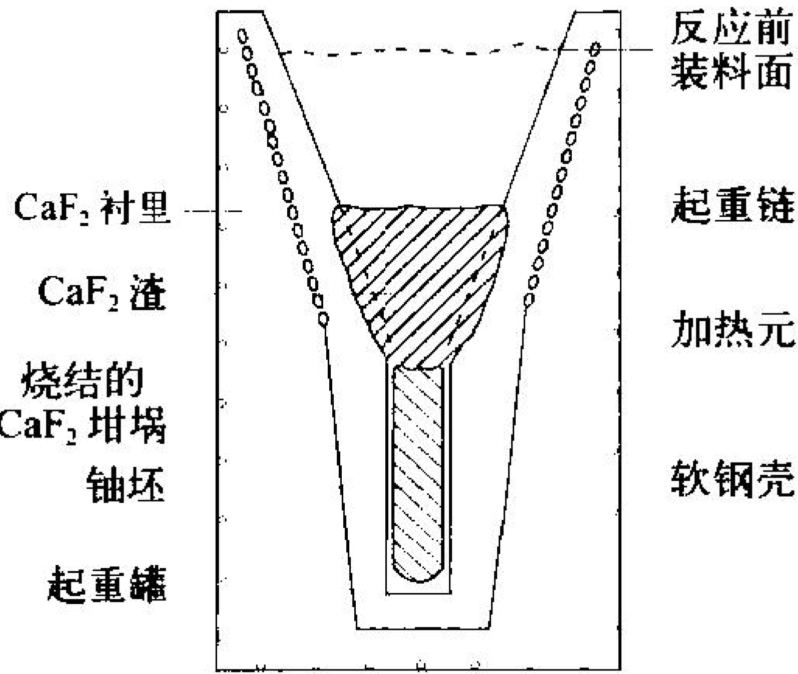
$\Delta\pi/\Delta I$	0 或 1	2	3	4	5
+	M1(E2)	E2	M3(E4)	E4	M5(E6)
−	E1	M2(E3)	E3	M4(E5)	E5

由于光子自旋为 1，故 $I_i=I_f=0$ 的跃迁不可能发生。对于 $I_i=I_f\neq 0$，也不可能发生 $L=0$ 的跃迁。不可能发生的跃迁称为禁戒跃迁。（撰写：施兆民　审订：卢希庭）

G

gai mei huanyuanfa

钙（镁）还原法　calcium (magnesium) reduction method　用金属钙（或镁）把 UF_4 还原成金属铀的方法。由于该反应为放热反应，对钙和镁还原剂，反应热分别为561.0 kJ和343.3 kJ，故又称钙（镁）热还原法。钙还原是在衬有纯 CaF_2 的钢制反应弹或立式炉内进行的。将 UF_4 和 Ca 屑混匀，装入反应弹（炉）中（见图）；先充氩清洗；再在非密闭条件下引燃，发生还原反应。冷却后取出聚积在反应弹底部的粗锭，用水浸泡除去钙渣。此法优点是：反应热大，无须外部加热，但对金属和 CaF_2 的纯度要求极高。镁还原与钙还原的主要区别在于在反应中要加盖密封以防止镁的损失；又因反应热小，需外部供热；用酸洗去除产物的表面夹杂物。此法具有成本低、纯镁易得，镁装料比小及产品纯度高等优点。

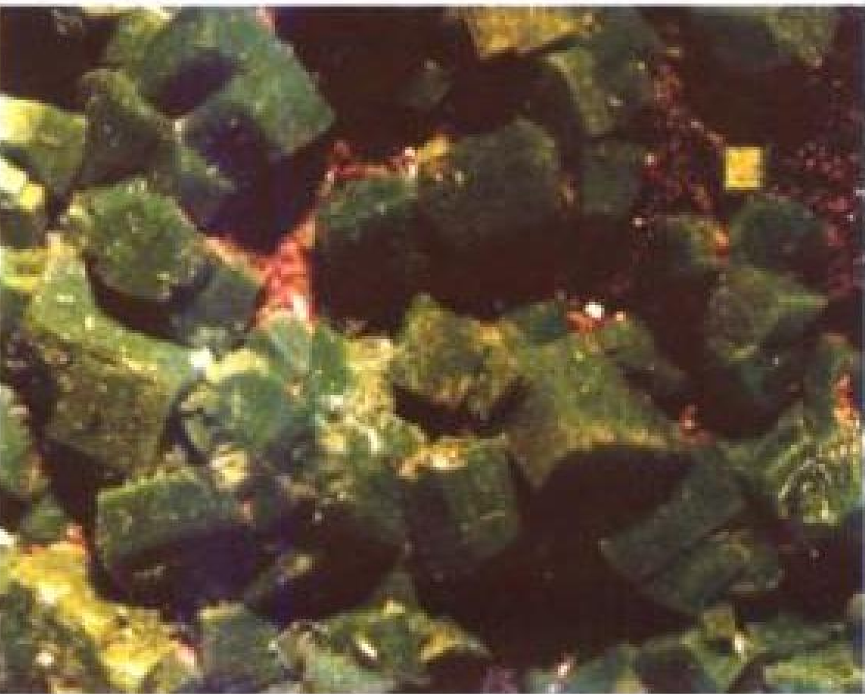


Ca-UF_4 还原容器（反应后）

（撰写：李文挺　审订：张忠岳）

gaiyou yunmu

钙铀云母　autunite　含水的钙铀酰磷酸盐，化学式为 $Ca(UO_2)_2(PO_4)_2\cdot 10H_2O$，该矿物发现于法国奥顿（Autun）地区。四方晶系，晶体呈正方形或八边形板状、片状。颜色为黄、淡绿黄、深黄绿（见图）。玻璃光泽到珍珠光泽。解理沿 {001} 完全、沿 {100} 清楚。性脆，硬度为 2～2.5，相对密度为 3.05～3.20。在紫外光照射下发强的黄绿色荧光。一轴晶或异常二轴负光性。折光率 N_e 或 N_p=1.552～1.555，N_m= 1.575，N_o 或 N_g = 1.575～1.578。光轴角 $2V$ = 10～30°，色散强 $r > v$。钙铀云母是铀矿床氧化带常见的铀矿物，常与钙砷铀云母、铜铀云母、翠砷铜铀矿等共生。


钙铀云母晶簇

（撰写：赵凤民　审订：胡绍康）

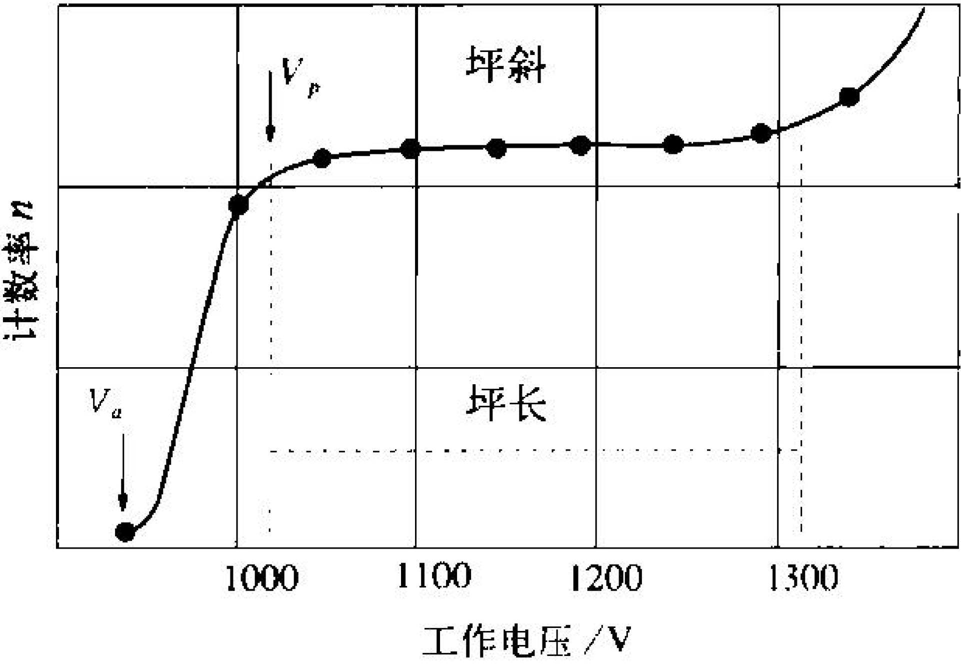
gaige jishuguan

盖革计数管　Geiger counter tube　工作在盖革放电区的气体电离探测器（又叫盖革—弥勒计数管）。大多为圆柱形结构，即用一金属圆筒作阴极，轴线上用一细金属丝作阳极，管内常充以惰性气体和少量多原子气体。入射辐射使管内气体分子电离，电子向阳极丝漂移，经雪崩放电大量离子沿阳极丝发展，在阳极丝周围形成正离子鞘，正离子鞘向阴极移动并在记录回路中形成脉冲。正离子鞘在电场作用下，到达阴极附近时得到一定的动能，它可以从阴极打出二次电子，产生假计数，所以要用猝灭的方法来消除这种可能产生的假计数。猝灭通常有两种方法，一是利用外部电路使放电后电极电压下降，这叫外猝灭方法，另一种是在管内加入少量多原子猝灭气体，猝灭气体的离子轰击阴极表面所产生次级电子的概率很小，因而可实现自猝灭，这叫自猝灭方法，一般都采用这种猝灭方法。常用的猝灭气体有卤素（如溴）和有机气（如酒精等），加有卤素猝灭气的叫卤素盖革计数管；充有有机气的叫有机盖革计数管。该种计数管制作工艺较简单、结构形式多样、输出脉冲幅度大，广泛用于 α、β、γ 射线的强度测量。

（撰写：肖文明　审订：彭华寿）

gaige jishuguan de pingtexing quxian

盖革计数管的坪特性曲线　plateau characteristic curve of Geiger counter tube　在恒定的辐射强度下，计数管的计数率与外加电压之间的关系曲线。坪特性用坪长和坪斜来表示，坪长是指曲线上计数率与工作电压基本无关的区段，坪斜是指在坪区段内每变化 100 V 时计数率变化的百分数（见图）。盖革计数管的坪长一般≥100 V，坪斜一般为(2%～4%)/100 V。



盖革计数管的坪特性曲线

（撰写：肖文明　审订：彭华寿）

gailülun anquan fenxi

概率论安全分析　probabilistic safety analysis　把整个系统的失效概率通过结构的逻辑性推理与它的各个层次的子系统、部件及外界条件等的失效概率联系起来，从而找出各种事故发生频率的安全分析方法。概率论方法是以对“事件树”和“故障树”的分析为基础的。事件树分析，建立事件树即进行功能模化，继始发事件之后，把各项与安全相关的功能按失效与否逐级展开，就能得到一系列后果不同的事件序列。作为一个例子，图1给出了压水堆核电厂失水事故的事件树，用以说明事件树的构造和用途。始发事件是一回路系统的主管道破裂，其发生频率为 F_1，此事故进程中可能涉及到的系统或设备有电源、应急堆芯冷却系统、放射性裂变产物去除系统和安全壳等。假定每个系统或设备有有效与失效两个状态，对事件树的展开取双树杈状，上、下树杈分别代表有效及失效（失效概率分别为 P_2，P_3，P_4 及 P_5）。按此例可产生 16 种潜在的事故序列，但根据事件树所涉及的各种功能的工程性

质及各个功能件的依赖关系，可简化成为图 1 的形状。

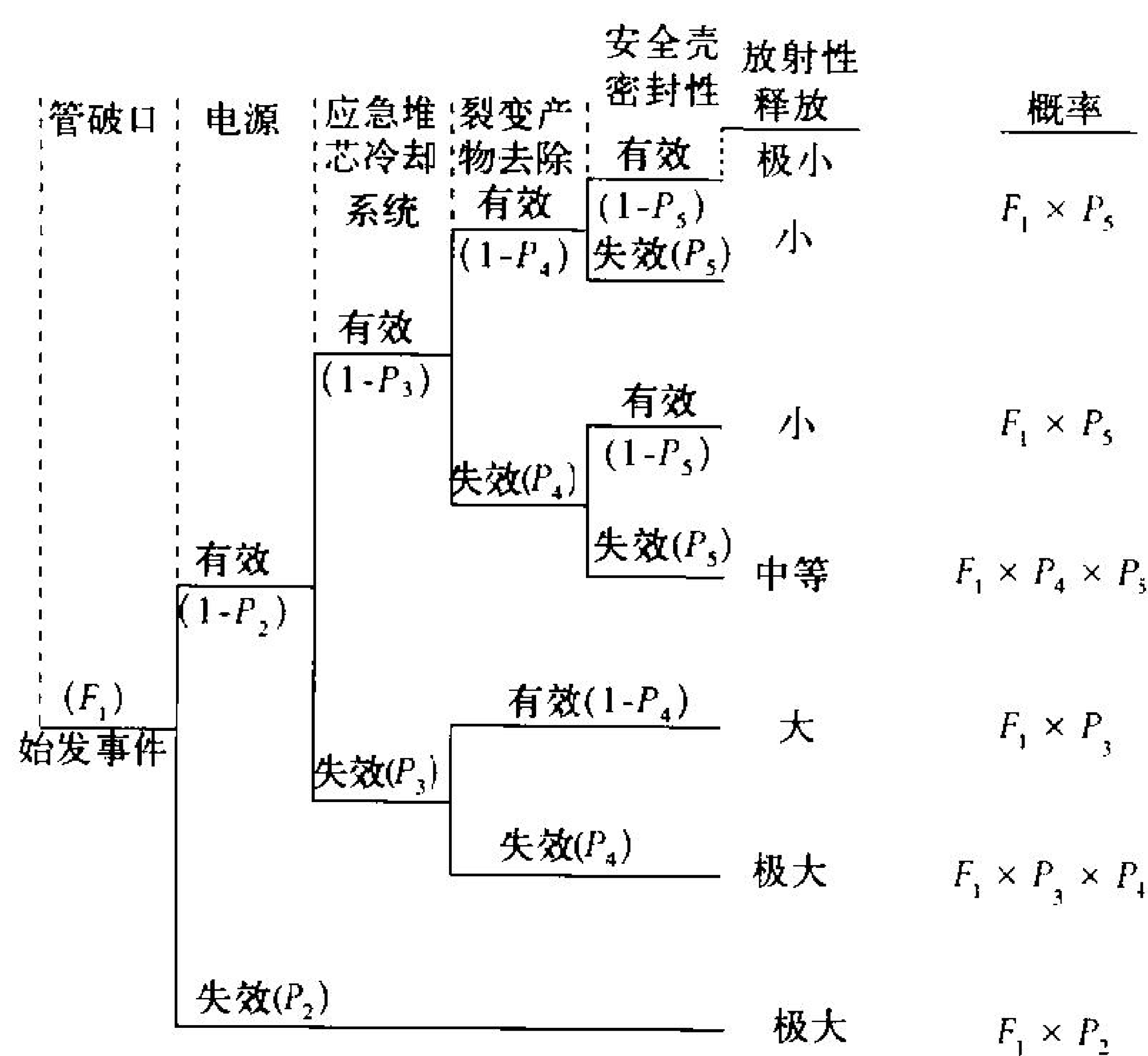


图 1 压水堆核电厂失水事故的事件树

故障树分析，在此方法中，把系统的失效作为分析的目标，由此反推，寻找直接导致这一失效的全部因素，直至无须再深究其发生的因素为止。把系统失效称之为“顶事件”，无须再深究的事件称之为“底事件”，介于这两者之间的一切事件称为“中间事件”。在分析中，这些事件由相应的符号表示，并用适当的逻辑门把它们连接成倒置的树形图，从而得到描述系统失效的一系列部件失效模式的逻辑图，即故障树。作为一个例子，图 2 给出了压水堆安全壳内，将冷却喷淋流量不足作为顶事件的故障树的头几级。该堆设置了两个冗余系统 A 及 B，其中每一系统都可以单独提供全部喷淋用水。因此，发生上述顶事件的前提为两个系统必须同时失效，这

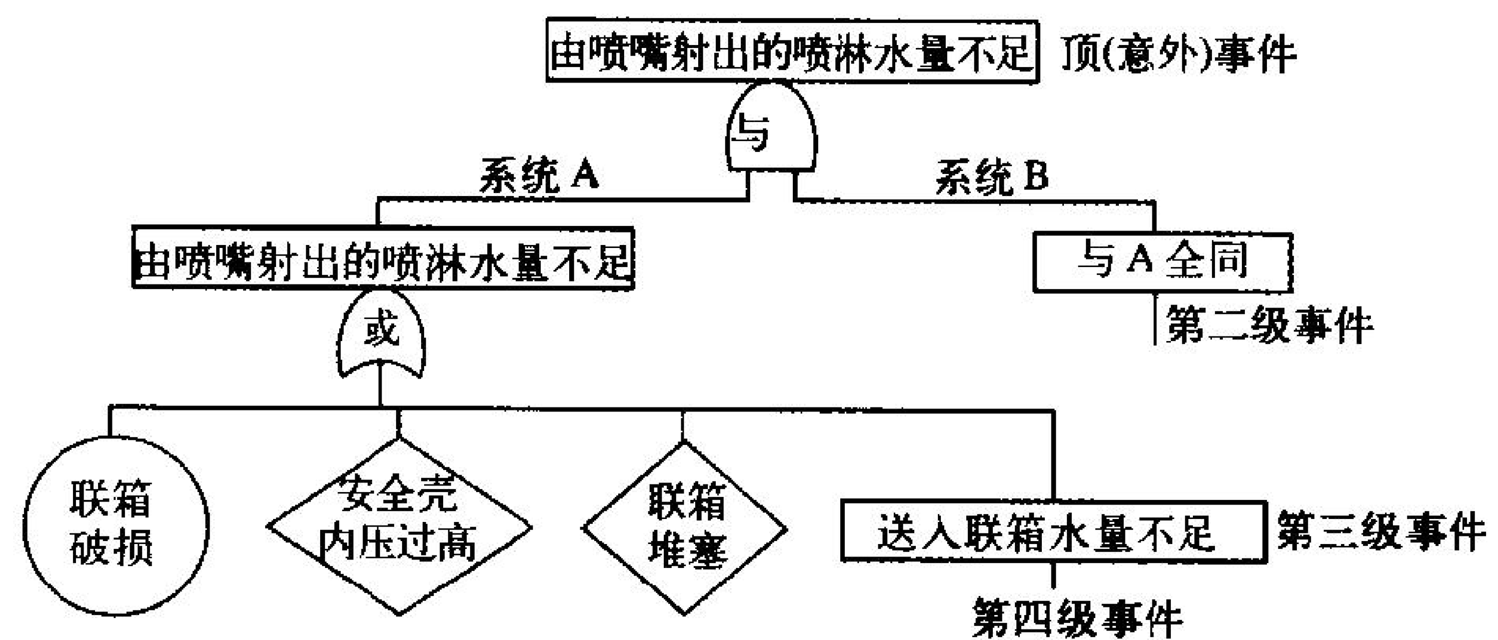


图 2 压水堆核电厂安全壳喷淋流量不足事件的故障树

一情况用逻辑符号“与门”(带圆顶的框)表示，用它将第二级事件与顶事件相连接。在第三级中找到四种事件，每种都足以导致上述第二级事件，因此用“或门”(带尖顶的框)与第二级事件相连接。用圆圈或菱形框表示的事件不需要进一步追溯原因，圆圈内的事件属于可以取得失效数据的事件，而菱形框内的事件则称作待发展事件，由于其不太重要或在本故障树中暂不向下发展而停止追溯。在长方框内的事件则属于必须向下追溯的事件。

(撰写：俞尔俊　审订：董柏年)

ganfa chuchen

干法除尘　dry dedust　在核设施废气净化系统中采用的无液除尘方法。一般常采用装有多孔介质或纤维介质作滤材的过滤装置。当气体通过该装置时，其中的灰尘便被阻截在滤材上，从而达到净化的目的。此种方法与湿法除尘(如：泡沫除尘装置、湿法洗涤器等)的区别在于被净化的气体不与水或其他液体相接触。

(撰写：刘春秀　审订：贾　明)

ganfa houchuli

干法后处理　dry reprocessing　在非水条件下进行核燃料后处理的工艺过程。干法后处理分两大类：(1) 挥发法，其中分氟化物挥发法和氯化物挥发法；(2) 高温法，其中又分物理法和化学法。物理法包括分级蒸馏法、分级结晶法和熔融金属萃取法；化学法包括熔融金属还原萃取法、熔融盐萃取法、熔融盐电解法和熔融精炼法。干法后处理在 20 世纪 50 年代初就开始研究，至今仍停留在研究阶段，需研究解决的问题有：耐高温腐蚀材料及相应设备的制造和密封,远距离操作、控制与检修，在工艺方面的钚净化、回收等。

(撰写：叶玉星　审订：朱永赌)

G

ganfa zhibei sifuhuayou

干法制备四氟化铀　dry process of uranium tetrafluoride production　用气态无水 HF 或其他氟化剂，在高温下与铀的化合物(主要是 UO_2)相互作用，以制取几乎不含水的 UF_4 的工艺过程。整个过程都是在气固相之间进行反应。干法制备 UF_4 的主体设备有搅拌炉、转炉、移动床反应器和流化床反应器等几种形式，因而其工艺流程也不尽相同。这些工艺流程和设备设计需遵循的原则是:(1) 有足够高的传热系数;(2) 气、固两相应逆流接触，沿物流方向建立气相 HF 浓度梯度、温度梯度和固相转化率梯度，使固相物料能以较高的氢氟化速度向颗粒深度转化，并降低 HF 消耗；(3) 力求防止固相转化后体积膨胀使物料流动受阻或堵塞反应器。干法的主要优点是：整个过程中废液量少；流程短；生产强度大；所制得的 UF_4 比重大、吸湿性低，适于还原制取金属铀。因此在生产中被广泛采用。其主要缺点是：设备结构复杂；需设置尾气净化设备；对设备材料要求高，要用蒙乃尔合金等制造。

(撰写：隋富志　审订：朱永赌)

ganfa zhucun

干法贮存　dry storage　将自释热的放射性固体废物或乏燃料放置在设有空气冷却的贮存装置中。高放固体废物和乏燃料都是自释热的辐射源，为了防止其温度过高造成危害,在贮存中必须加以冷却。相对于用水冷却的湿法贮存，用空气冷却的干法贮存比较简单、经济，但冷却效率较差。干法贮存库(见图)通常设有带屏蔽的贮存室或配备带屏蔽的贮存容器。



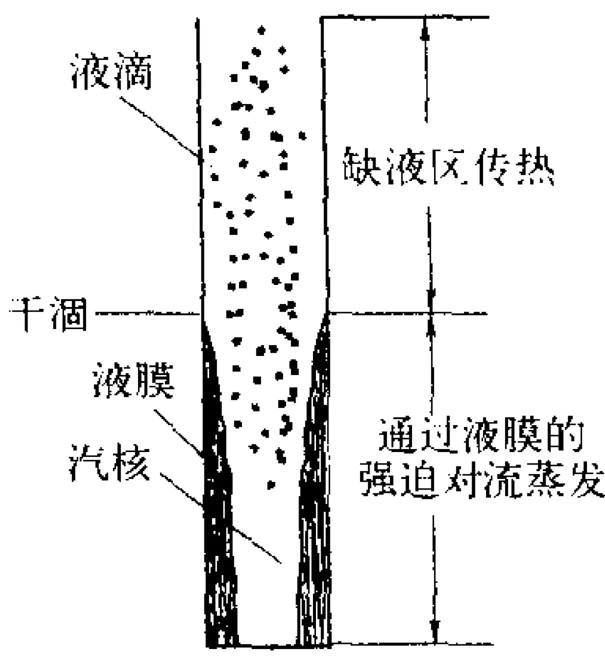
乏燃料干法贮存库

干法贮存可采用自然通风或强迫循环空气冷却。

（撰写：孙东辉　审订：王显德）

ganhe

干涸　dryout　在受热壁面低热流密度和高含汽率环状流工况下，附在壁面上的液膜因夹带、蒸发或撕破而消失，从而导致壁面干涸的现象（见图）。干涸时由于蒸汽流速较高，其传热能力并不太低，因而壁温上升幅度不很大，一般不会使壁面烧毁。



壁面干涸现象图

（撰写：郝老迷　审订：陈玉宙）

G

ganjing qingdan

干净氢弹　clean hydrogen bomb　爆炸后散落的放射性沾染物比较少的氢弹。放射性沾染物是指裂变产物、受核爆中子辐照后激活的物质，带放射性的聚变反应产物与未反应的核材料。由于裂变产物中有许多长寿命放射性核素，而聚变产物比较“干净”，所以干净氢弹的次级中裂变威力份额比较小。但由于氢弹的初级以裂变威力为主，所以迄今尚不能制造出纯聚变氢弹来。降低裂变威力的途径主要有：尽量降低初级威力，或用串级技术；尽量降低次级中裂变芯的威力，用非裂变材料铅、钨等代替天然铀。美国自从1954年城堡行动的“强盗”(Bravo)核试验发生了严重的放射性事故后，大力开展了干净氢弹的研究。1956年5月红翼行动“祖尼”(Zuni)试验中爆炸的“巴松管”(Bassoon)装置是一个三级干净氢弹，总威力3.5 Mt TNT，85%是聚变威力。苏联1961年10月试验了世界上威力最大、最“干净”的氢弹，总威力达50 Mt TNT，聚变威力占97%。

（撰写：郑绍唐　审订：徐適新）

ganshi chongtian caikuangfa

干式充填采矿法　stoping by using dry backfill　用石块作充填料的铀矿开采法。铀矿干式充填采矿法共有10道工序。最大的特点是整个回采过程中必须与放射性物探工作和放射性防护工作密切配合。　（撰写：王昌汉　审订：李开文）

ganyu

干预　intervention　任何意在减小或避免不受控制实践的、或因事故而失控的源所致的照射或照射可能性的行动。干预应遵循下述防护原则：(1)正当性：如果减小的照射和相应的危害足以抵消干预行动的代价、危险和社会负面影响，则干预是正当的。对特定的行动，用选择相应可防止剂量的干预水平可作出干预的决定。对应急状况，由某一特定照射途径或几种途径结合所产生的预期的剂量可能接近严重确定性健康效应的阈值时，防护行动优先总是正当的。(2)最优化：对正当的防护行动，有必要确立能提供最佳防护的干预水平。即每一防护行动所防止的危害应当与该防护行动的代价及其危害相互权衡，以使该防护行动所获得的净利益为最大。不应采用实践的剂量限值或任何其他预定的剂量限值作为干预的依据，因为这可能导致与所得的利益极不相称的措施，这将与正当性原则发生矛盾。但当剂量接近或达到可引起严重的确定性效应时，某种干预将成为几乎是强制要做的了。

（撰写：潘自强）

ganyu shuiping

干预水平　intervention level　在应急照射情况或慢性照射情况下用可防止剂量表示的应当采取特定防护行动或补救行动的剂量水平。对于任何群体，在其可防止的剂量预期超过干预水平时就应该考虑实施干预。国际上早期采用的及我国现行核应急法规标准中的干预水平是以预期剂量作为剂量学表示量的，其大小则是一个剂量范围（见表）。这是因为干预水平的确定受政治的、社会的、经济的以及环境的诸多因素影响，不可能给出一个适用于不同国家、不同厂址条件的干预水平值。近些年来，根据切尔诺贝利事故的经验与教训，国际上推荐的干预水平采用可防止剂量代替预期剂量作为剂量学表示量，并从便于协调一致和易于应用考虑，选用一组经过优化的，具有一定通用性的干预水平值代替起初的剂量范围，由此引出通用干预水平的概念。

我国现行核安全导则中推荐的干预水平
（用预期剂量表示）

	防护措施	剂量／mSv或mGy	
		全　身	肺、甲状腺和任一关键器官
事故早期	隐蔽	5～50	50～500
事故早期	服用碘片		50～500
事故早期	撤离	50～500	500～5000
	防护措施	第一年内的剂量当量／mSv	
		全　身	主要受照的单个器官
事故中期	食物和水控制	5～50	50～500
事故中期	避迁	50～500	

（撰写：陈竹舟　审订：施仲齐）

ganyu yuanze

干预原则　principle for intervention　对公众实施干预所必须遵循的原则。该原则主要用于决策是否对公众实施干预（即采取防护行动）的核或辐射应急状态，也适用于采取补救行动以减少持续性照射的情况。由于实施任何干预都可能带来某些新的危害，所以采取防护行动或补救行动都必须慎重，必须遵循以下三条干预原则：(1)应尽所有可能的努力防止严重的确定性效应的发生，其办法是使所有公众接受的辐射剂量低于确定性效应的阈值。(2)拟议中的干预应是利多于害，即由于降低剂量而减少的危害应当足以说明干预本身带来的危害及代价（包括社会代价在内）是值得的。这即是干预的正当性。(3)干预的形式、规模及持续时间应当谋求最优化，使得降低剂量而获得的净利益，即降低辐射危害而得到的利益扣除干预带来的危害为最大值。这即是干预的最优化。

（撰写：陈竹舟　审订：施仲齐）

gansheng fangshexingdan

感生放射性弹　induced radioactivity weapon　利用核爆中子感生的放射性同位素增大放射性沾染的一种氢弹。1950年2月匈牙利物理学家L.西拉德最早提出“钴弹”的设计概念，即在氢弹次级中在聚变燃料外面包上一层^{59}Co（$^{59}_{27}$Co）核

素组成的材料，在它受到中子照射后，将通过(n，g)反应产生同位素^{60}Co，^{60}Co是γ辐射的强发射体，半衰期为5.26年，衰变时放出能量分别为1.33 MeV和1.17 MeV的强贯穿γ辐射。它的半衰期足以使它在大量衰变前散布到世界各地(这样的散布大约需要几个月到几年时间)。这种武器只是一种理论上的设想，并没有人制造过或做过大气层试验。作为这种用途的特殊核素，除^{59}Co外，还可以是^{197}Au、^{181}Ta与^{64}Zn等。

(撰写：郑绍唐　审订：竺家亨)

gaochunzhe tanceqi

高纯锗探测器　HPGe detector　一种典型的结型半导体探测器。常用的结构有如下两种：即平面型高纯锗探测器(见图1)和同轴型高纯锗探测器(见图2)。它们有各自的特点和应用范围。前者工作在反向偏压下，全耗尽；工作偏压高于全耗尽电压，“过电压”是使探测器内最低电场强度处也足以使载流子(电子与空穴)的漂移速度达到饱和，以减少收集时间和复合、俘获的影响。探测器可以用P型或N型HPGe单晶制成。它主要用于测量低能X和γ射线，探测能区在3 keV～1 MeV。入射端面的薄窗接触(P^+接触)大都采用离子注入方法制成。平面型HPGe探测器的灵敏面积约28～2000 mm²，耗尽深度在5～15 mm之间。后者为“单开端”同轴几何形状，这种几何形状较之真正同轴形状，有较低的电容和耗尽电压，有利于制成更大体积的探测器。探测器的外电极为N^+P结，N^+层是用扩散Li的方法制成；内电极通常是采用注入B^+离子制成。探测器在液氮温度下工作，可在室温下贮存。该种探测器是γ谱仪主选的探测器，主要用于高能γ射线探测，其探测能区为40 keV～10 MeV。近年来已研制出超低能X射线探测器，其薄窗P^+接触是利用6×10^{-6}cm (600 nm)厚的无定型Ge(α–Ge)与P型HPGe构成，其探测能区为0.3～30 keV。它是物理和化学领域中微结构分析和同步辐射装置上生物研究的重要探测工具。另外，随着更高纯度[(4～9)×10^9杂质原子/cm^3]和更大直径(9 cm)的探测器级HPGe单晶的出现，同轴型HPGe探测器的灵敏体积有了巨大的突破。研制出了相对探测效率为181.3%和能量分辨率FWHM = 2.09 keV的超大灵敏体积的探测器。

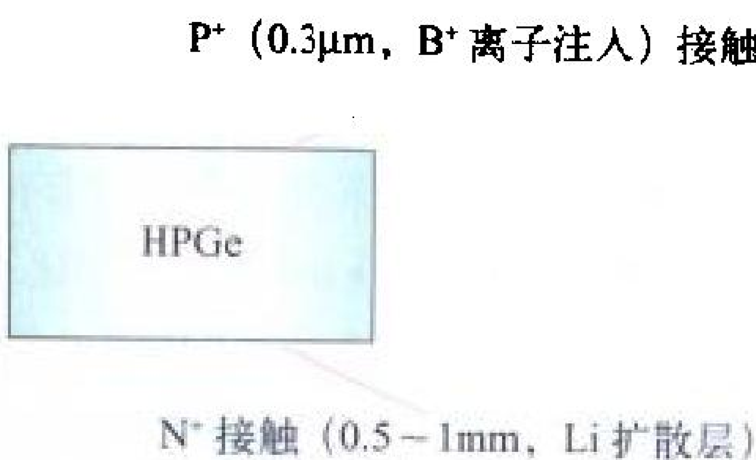


图1　平面型高纯锗(HPGe)半导体探测器典型示意图

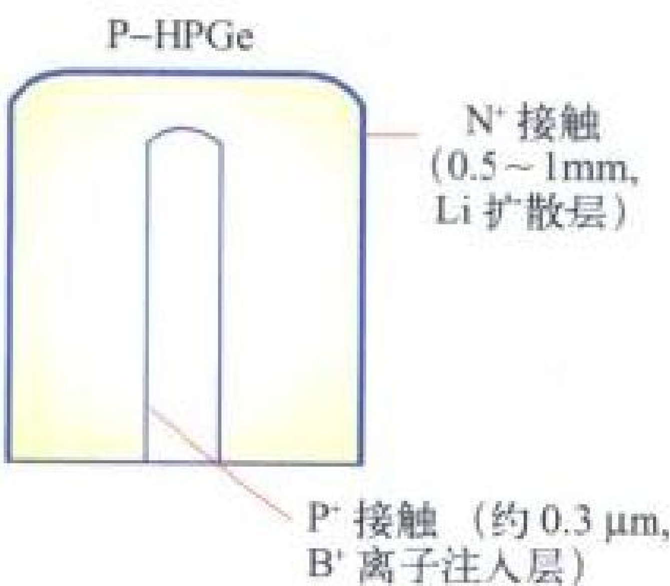


图2　同轴型高纯锗(HPGe)探测器示意图

(撰写：吴绍云　审订：王征华)

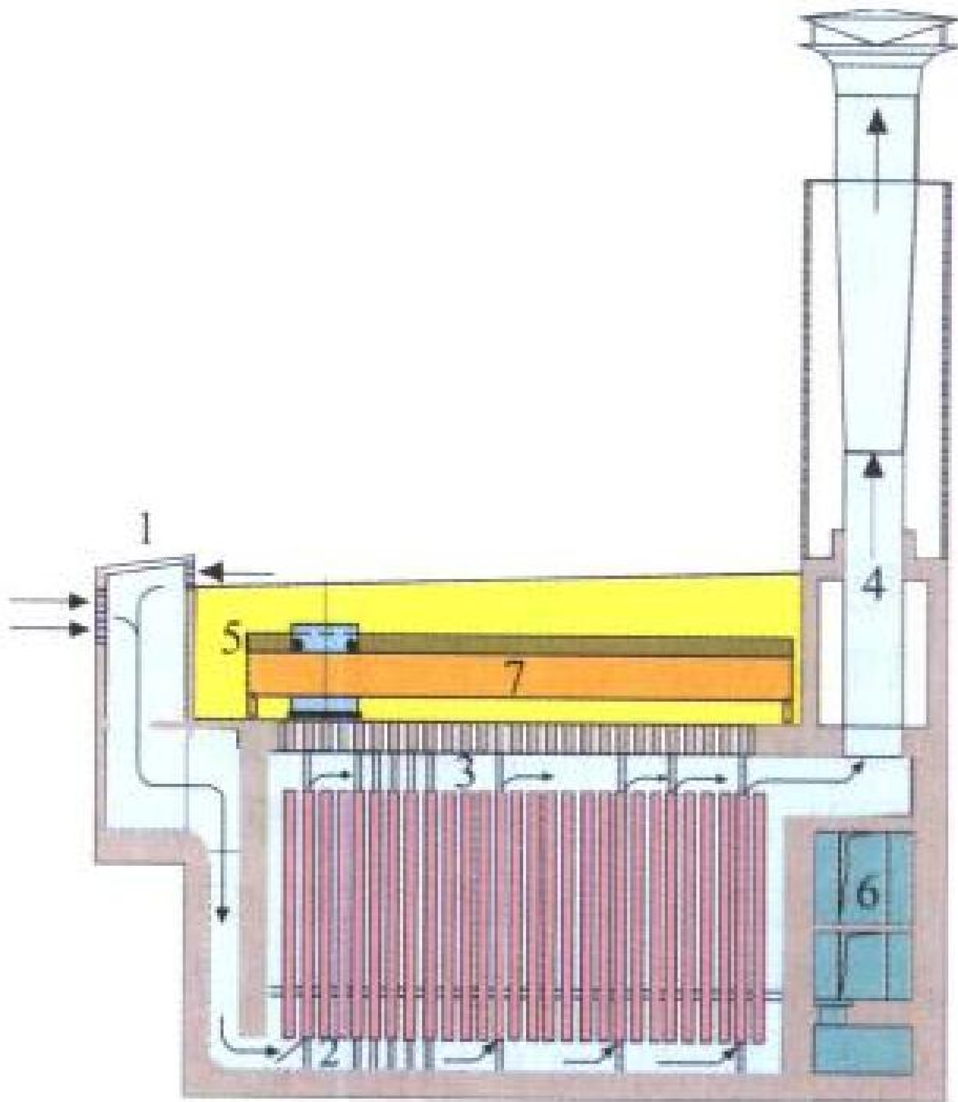
gaofang feiwu

高放废物　high level radioactive waste (HLW)　放射性核素的含量或浓度高，释热量大，操作和运输过程中需要特殊屏蔽的放射性废物。全称高水平放射性废物。这类废物主要是乏燃料后处理产生的含大量裂变产物的高放废液及其固化体、准备直接处置(一次通过式)的乏燃料及相应放射性水平的其他废物。各国的放射性废物分类方法差别很大，尚没有统一标准。我国放射性废物分类标准GB9133–1995所规定的高放废物为：高放废液，$A > 4\times10^{10}$Bq/L；高放固体废物，$A > 4\times10^{11}$Bq/kg或释热率> 2kW/m³(5 a < $T_{1/2}$ ≤ 30 a，包括^{137}Cs)，$A > 4\times10^{10}$Bq/kg，且释热率> 2kW/m³($T_{1/2}$ > 30 a，不包括α废物)。高放废物的体积虽然不足核燃料循环所产生的放射性废物体积的1%，但其所含放射性量超过核燃料循环总放射性量的99%。由于高放废物的放射性水平高、释热量大和放射毒性大，其处理和处置难度大、费用高。

(撰写：罗上庚　审订：孙东辉)

gaofang feiwu ziran tongfeng lengque

高放废物自然通风冷却　cooling by natural ventilation for high-level waste　又称自然空气冷却。借助空气自然对流或流动对自释热放射性废物或乏燃料进行冷却(见图)。高放废物自然通风冷却主要用于乏燃料和高放固体废物的贮存设施。自然通风冷却气流速度较低，所以冷却效率较强制通风冷却低，但能耗少，建设投资和运行费用较低。



高放玻璃固化体贮存库自然通风冷却示意图

1—空气入口；2—下部通风空间；3—上部通风空间；4—烟囱；5—装卸大厅；6—公用房间；7—转运吊车

(撰写：孙东辉　审订：王显德)

gaofenzi fushe huaxue

高分子辐射化学　radiation chemistry of polymer　研究高分子在电离辐射作用下所引起的物理、化学行为变化的学科，属辐射化学的一个分支。电离辐射对高分子的作用分为辐射聚合、辐射接枝、辐射交联和辐射降解。辐射聚合专指以辐射作为一种特殊的引发剂引发的聚合反应，形成的聚合物叫均聚物。辐射接枝则专指聚合物骨架在电离辐射作用下与作为支链的单体发生接枝共聚反应，形成的产物叫接枝共聚物。辐射交联和辐射降解统称为聚合物的辐射效应，前者指在电离辐射的作用下聚合物分子通过键桥在空间形成三维网络结构的现象；后者则指主链发生断裂的现象。目前辐射交联是高分子辐射化学应用最为成功的领域之一。

(撰写：包华影　审订：吕延晓)

gaogonglü chufa kaiguan

高功率触发开关　high power trigger switch　电路中一种能被外加信号触发的开关器件。在未加触发信号时，它维持原有的工作状态(断开或闭合)。当有外加触发信号输入时，开

关的工作状态翻转(闭合或断开)，此电路的工作状态随之也发生变化。开关的实质是一个快速阻抗变换器。触发信号有多种类型，如电脉冲、紫外光、激光、电子束等。开关中的工作介质有气体、液体、固体及等离子体。触发开关就其工作状态可分为闭合开关和断路开关，前者主要应用在电容储能装置中，后者主要应用于电感储能装置。高功率脉冲装置中所用的开关，要求耐压高、导通(或关断)快、开关电感小、延时抖动小、工作稳定、寿命长。

(撰写：杨大为　审订：王乃彦)

gaogonglü lizishu jiasuqi

高功率粒子束加速器　high power particle beam accelerator　在脉冲高电压的电场作用下，对非常强的带电粒子束团(几十千安至几十兆安)进行加速的装置。与一般加速器不同之处在于它采用发射能力非常强的场致发射(电子或离子)二极管作为束流源；用 Marx 发生器与脉冲形成线组合成脉冲高压电源。高功率粒子束加速器有着非常广泛的应用，如模拟核爆瞬态γ射线、X 射线源、热击波效应、电磁脉冲等；闪光 X 光照相研究爆炸流体力学过程；泵浦高功率激光(如 KrF 等)；惯性约束聚变研究；高功率微波的产生；离子集团加速等。此外，它在工业上如辐照改性、烟气脱硫脱硝等都有广阔应用前景。(撰写：杨大为　审订：王乃彦)

gaogonglü maichong dianyuan

高功率脉冲电源　high power pulse source　为脉冲功率装置的负载提供电磁能量的装置。一般将能供给负载上的功率大于 10^6 W 或在 $10^{-9}\sim10^3$ s 持续时间内能产生 $10\sim10^9$ J 电磁脉冲能量的装置称之为高功率脉冲电源。脉冲功率装置包括初级能源、中间储能和脉冲成形系统、转换系统及负载。通常所称的脉冲功率技术就是把初级能源提供的能量，存储在具有较高能量密度的储能元件中，然后快速释放给负载的电物理技术。高功率脉冲电源就其实质而言，就是对能量在空间和时间上的压缩。高功率脉冲电源可按其储能方式分为电容储能和电感储能。

(撰写：杨大为　审订：王乃彦)

gaoji xiangcha

高级像差　high-order aberrations　由于粒子实际轨迹不满足旁轴近似条件而引起的相对旁轴轨迹的几何像差。这里借用了几何光学中的概念来描述带电粒子在具有电磁场的真空中的运动规律。在轴对称系统中，旁轴轨迹方程为一线性微分方程。而当考虑非旁轴粒子时，粒子运动方程中包括了三级以上的非线性项(五级、七级和更高级项)，由于它们对旁轴运动的微扰，使从物体上一点发出的那些粒子并不能在像平面上会聚成一点，引起像的畸变或清晰度下降。这些三级以上的项带来的几何像差称为高级像差。为克服像差的影响，人们对三级像差的解析研究比较多；而对高级像差的研究，可采用计算机直接模拟粒子运动轨迹的方法。近年来，我国研究者采用计算机人工智能技术，可导出任意级像差系数的解析表达式。

(撰写：傅世年　审订：王传英)

gaokong hebaozha

高空核爆炸　nuclear explosion in space　高度在20～30 km以上核爆炸。由于大气密度随高度减少，随着爆炸高度增加，其外观景象和毁伤效应都与大气层核爆炸有较大的差异。核爆炸火球的尺度、发展和上升速度都明显增加。由于火球上部发展速度大于下部，使火球呈倒梨的形状。例如美国



从远处海平面上看到的核爆炸火球

1958 年代号为麻栗树(Teak)的核试验(威力为百万吨 TNT 当量，爆高为 77 km)，爆后 0.3 s 时火球水平半径达 9 km；3.5 s 时达 14.5 km，火球水平膨胀速度和上升速度超过 1 km/s。当爆高大于约 80 km，核爆炸所发射的 X 射线能量在向下传播时，大部分在距地面 60～80 km 处被大气吸收，形成与爆心脱离的饼状火球。高空核爆炸，特别是高度在 80 km 以上爆炸释放的能量中，70% 以上以 X 射线形式向外辐射。由于大气对辐射削弱作用减弱，因此 X 射线和中子、γ射线在低层大气中产生的电子流激励起的高空电磁脉冲，也成为大范围空中和宽广地面的毁伤因素。这些毁伤因素可以摧毁一定范围内的空间飞行器或其中的电子系统，在军事上达到反导目的，或通过高空核电磁脉冲损伤或干扰大范围内的指挥、控制、通信、电脑和信息 C^4I 系统，为后继的大规模袭击创造条件。高空核爆炸产生大量不同能量的电子，能长时间在地球磁场作用下运动，形成人工辐射带，产生多种地球物理效应和电离层效应，后者对短波通信可能带来影响。(撰写：乔登江　审订：吕　敏)

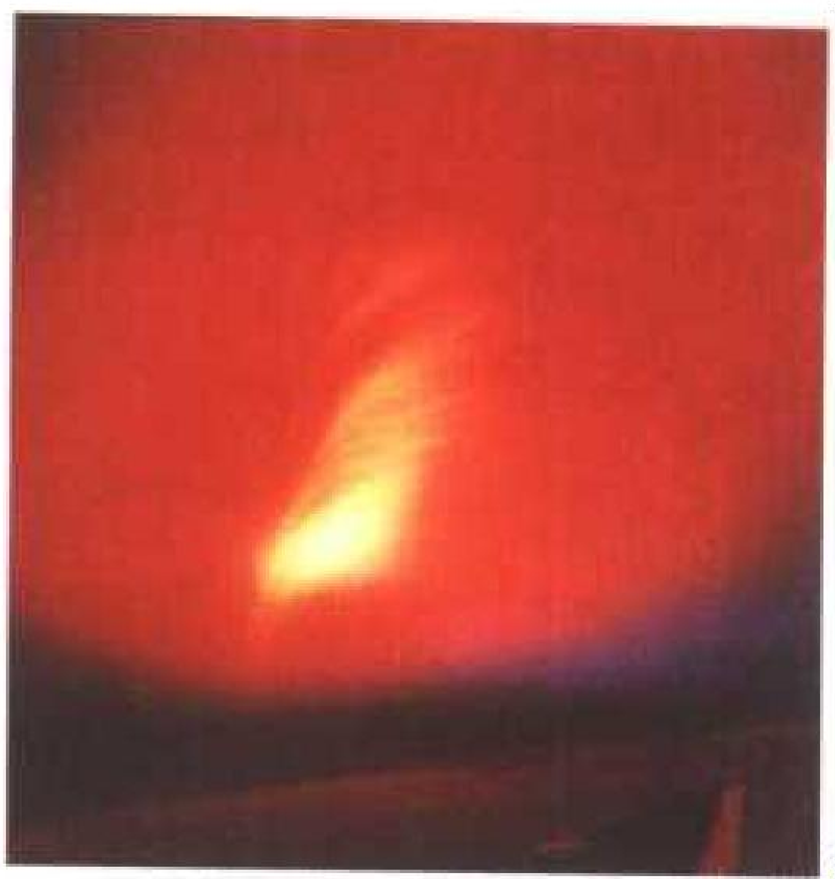
gaokong hebaozha diancimaichong

高空核爆炸电磁脉冲　electromagnetic pulse of high-altitude nuclear explosion　距地面约 30 km 以上核爆炸产生的电磁脉冲，是高空核爆炸的主要毁伤因素之一。它是由核爆炸产生的瞬发γ辐射和 X 射线，在大气中沉积能量产生的康普顿电流与地磁场相互作用激励的电磁脉冲。高空核电磁脉冲的源区范围广，地面受其影响的区域随爆炸高度的增加而加大，一般可达数千千米范围。高空核电磁脉冲强度主要取决于爆炸威力、爆炸高度以及与地磁场的夹角等。百千米高度上百万吨 TNT 当量的高空爆炸，源区电场达 10^5 V/m 量级；在地面能直视爆心的区域内，电场的幅值在 10^4 V/m 的量级，脉冲持续时间短约为 0.1～1 μs，脉冲半宽度为 $(10\sim100)\times10^{-9}$ s，主频率在 10～100 MHz。这样强的电磁脉冲场，对电子系统可造成瞬时干扰及元、器件击穿、烧毁等永久性破坏。

(撰写：华　鸣　审订：乔登江)

gaokong heshiyan

高空核试验　high altitude nuclear test　高度在 30km 以上进行的核试验。美、苏都曾经在离地面 30 km 以上，近似真空条件下进行核试验(见图)，其目的是研究高空核爆炸的破坏效应和地球物理效应，研究在高空利用核武器作战的可能性。高空核爆炸的现象和破坏效应与大气层核爆炸有很大不同(参见高空核爆炸)。



美国 STARFISH 高空核试验人造极光景象

图出处 http://www.enviroweb.org/issues/nuketesting /hew/usa/tests/dominic

（撰写：吕 敏　审订：乔登江）

gaojia paifang

高架排放 elevated emission ,elevated release；release from elevated source　又称高架源排放。大气污染物排放烟囱足够高，烟羽不会落入附近建筑物或突出地物的扰动流场而产生下泄并卷入障碍物尾流混合区的排放。大量研究总结表明，烟囱高度超过附近建筑物高度的 2～2.5 倍以上时下泄就不显著，可视为高架源排放。烟气释出烟囱后由于初始喷出速度或由于其温度高于周围大气而向上抬升，分别称为动量抬升和浮力抬升。反之，可因为建筑物的下泄或烟囱口本身的下洗出现下沉。烟羽扩散实际上在有效高度上下进行。有效高度大小对于地面污染物浓度高低有重要作用，在大气扩散评价计算中合理地确定统称为抬升高度的综合修正值 Δh 就很重要。非核企业高架排放的烟气温度往往远高于环境大气温度，一般只考虑起主要作用的浮力抬升。核企业通常是常温排放，为确切起见，高架排放应同时考虑动量抬升和烟囱口的下洗，并为保守起见取不同实用计算公式的较低值。例如，我国核电厂安全导则 HAF0103 规定常规工况时，反应堆烟囱在中性和不稳定大气状态下抬升高度取下两式计算值的较小者

$$\Delta h = 1.44 D_i \left[\frac{W_0}{U}\right]^{2/3} \left[\frac{X}{D_i}\right]^{1/3} - C;\quad \text{或}\ \Delta h = 3 W_0 D_i / U$$

式中 C 是烟囱口下洗修正项。稳定大气状态的抬升高度由第一式和两个稳定层结的动量抬升公式计算结果中选择较低者（参见有效排放高度、地面排放）。

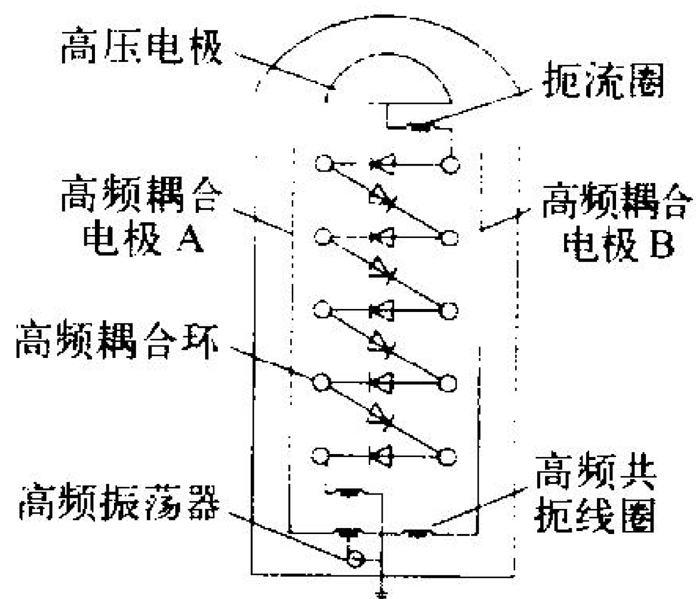
（撰写：陈家宜　审订：蔡旭晖）

gaonengliang midu wuli

高能量密度物理 high energy density physics　研究高能量密度状态的产生及在这种状态下物质性质的物理。10^{15} W · cm^{-2} 激光辐照物质，可以产生数百万焦耳每立方厘米的高能量密度；惯性约束聚变中通过内爆热核材料达到点火条件时，其能量密度大约是 10^4 MJ · cm^{-3}；近年来发展的飞秒级超短超强激光能流密度可达（10^{18}～10^{21}）W · cm^{-2}，辐照固体靶时可直接产生极高的能量密度，例如 10^{20} W · cm^{-2} 时达到 10^4 MJ · cm^{-3}；高能量密度物理的研究对于惯性约束聚变和天体物理具有重要意义。（撰写：罗平庆　审订：常铁强）

gaopin gaoya fashengqi jiasuqi

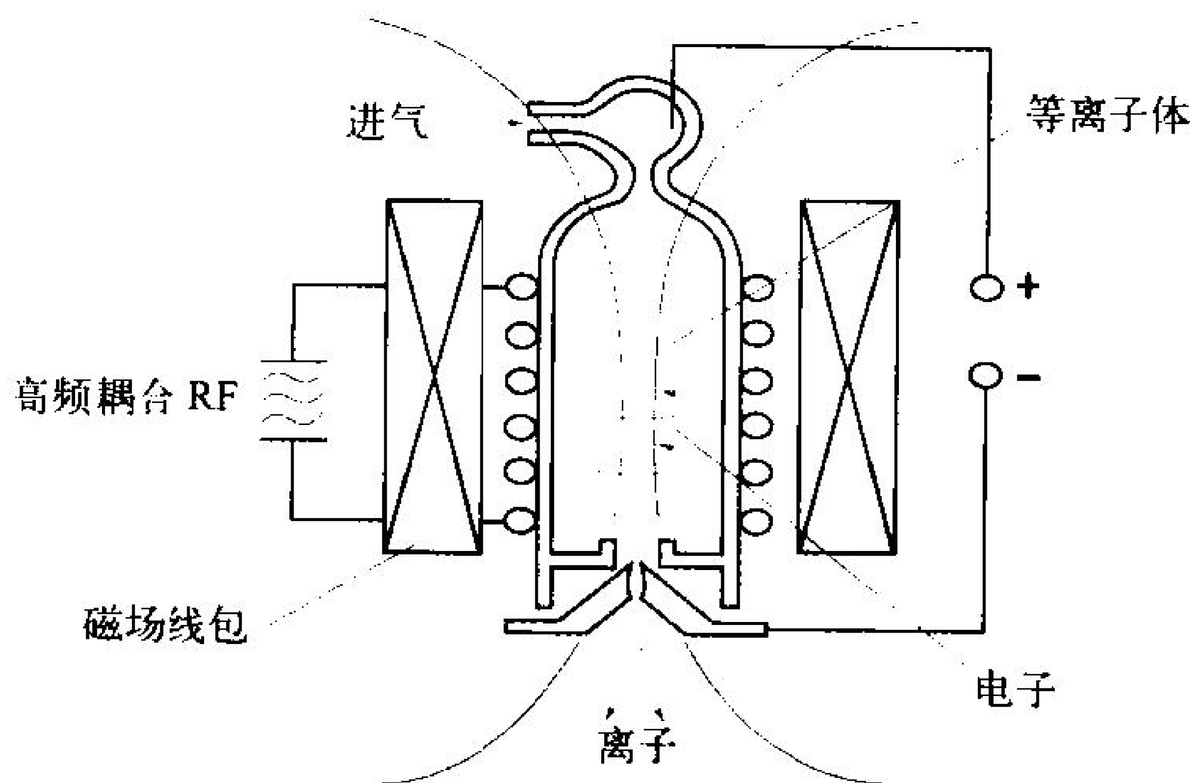
高频高压发生器加速器 dynamitron　又称 Dynamitron 加速器。利用高频高压发生器产生高压的大功率高压型加速器。整个加速器安装在充有高压绝缘气体的钢筒内。两个半圆筒形的高频电极安放在钢筒之内，在电极内所有的分压环都分成两个半环，并相互绝缘。如图所示，在分压环之间交替连接着整流器。两个高频电极分别连在高频振荡器上。高频功率通过分压环与高频电极间的电容送到整流器上。通过一系列整流后，最终形成静电高压。这种加速器的特点是输出能量高、输出电流大、高压纹波小、束流品质好，而且结构紧凑、工作稳定可靠。其缺点是电源利用效率低。高频高压发生器加速器主要用于电缆电线的辐照及生产热收缩膜和管。其额定电压从 400 kV 到 4.5 MV，束流功率可达 150 kW。（撰写：关遐令　审订：王传英）



高频高压发生器加速器示意图

gaopin liziyuan

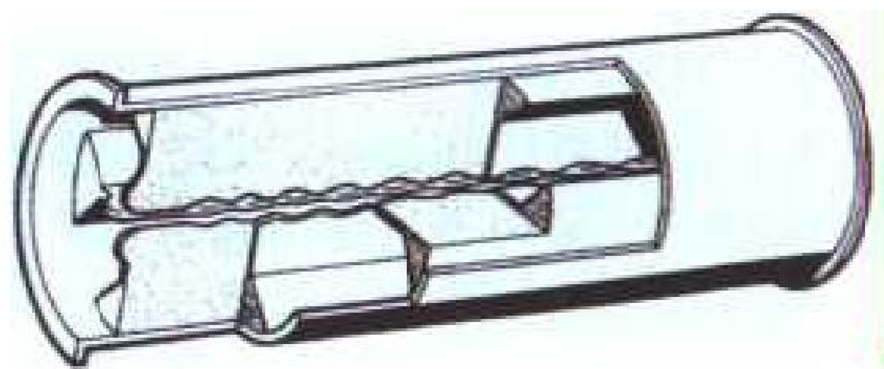
高频离子源 RF ion source　利用低压气体中高频放电现象的等离子体离子源。它的基本结构包含放电管、高频功率耦合回路、进气管和离子引出系统。许多源都有 10^{-3}～10^{-2} T 的磁场以提高等离子体密度并改善其分布。源的典型工作参数为气压 0.1～1 Pa、高频振荡器频率 1～100 MHz、功率几百瓦。RF 离子源按高频功率耦合方式分为电容耦合型和电感耦合型，后者居多。一般将 RF 线圈放在放电管外面，近来也采用天线结构装入放电室内。引出方式类似直流放电离子源（见图）。RF 离子源最大优点是结构简单、无灯丝，因而寿命长和等离子体中杂质元素少。（撰写：赵渭江　审订：关遐令）



汤内曼（Thonemann）型电感耦合高频离子源示意图

gaopin sijichang zhixian jiasuqi

高频四极场直线加速器 radio frequency quadrupole linac (RFQ)　利用高频四极电场对带电粒子同时实现横向聚焦和纵向加速的一种直线加速器，简称 RFQ。RFQ 集聚焦、整形聚相和加速三种作用于一体，结构紧凑，束流性能好、发射度增长少，束传输效率高，运行稳定可靠。常用的 RFQ 结构有四翼型（见图）和四杆型两种。前者的工作频率为 100～425 MHz，



四翼型 RFQ 加速器示意图

用于加速轻离子；后者的工作频率为几十兆赫至 200 MHz，用于加速较重离子。四翼型 RFQ 腔工作在 TE_{210} 振荡模式，相对电极的电位极性相同，相邻电极的电位极性相反，电极极尖沿束流运动方向呈准正弦形调变，相对电极极尖形状完全相同，而相邻电极极尖的最大值与最小值相对交错排列，以得到所需的电场分布，确保粒子稳定加速。从束流运动特性来看，RFQ 通常由横向匹配段、成形段、聚束段和加速段组成。RFQ 适合加速每个核子能量低于 2.5 MeV 的低能离子，可以直接接在离子源后，作为离子加速器的注入器、离子注入机以及强中子源等。

（撰写：罗紫华　审订：王传英）

gaoqiya dianlishi

高气压电离室　high pressure ionization chamber　一种内充高气压气体的电离室。电离室壁通常由钢材制作，充以 2～3 MPa (20～30 大气压) 高纯氩气或氮气，体积一般为 4～8 L。高气压电离室具有较高的灵敏度和长期稳定性，对环境陆地 γ 辐射与宇宙射线电离成分的空气吸收剂量率响应近似相同。为得到对入射辐射各向同性响应常采用球形。高气压电离室 20 世纪 30 年代初研制成功，20 世纪 80 年代后期采用能量补偿法进一步改善了能量响应特性，早年曾用于海平面宇宙射线空气电离量测量，20 世纪 70 年代初用于环境辐射照射量率测量以及核设施气载流出物的连续监测。高气压电离室除在核技术领域内的应用外，作为传感器在工业自动化方面也被广泛应用。

（撰写：岳清宇　审订：彭华寿）

gaowen huaxue chuli

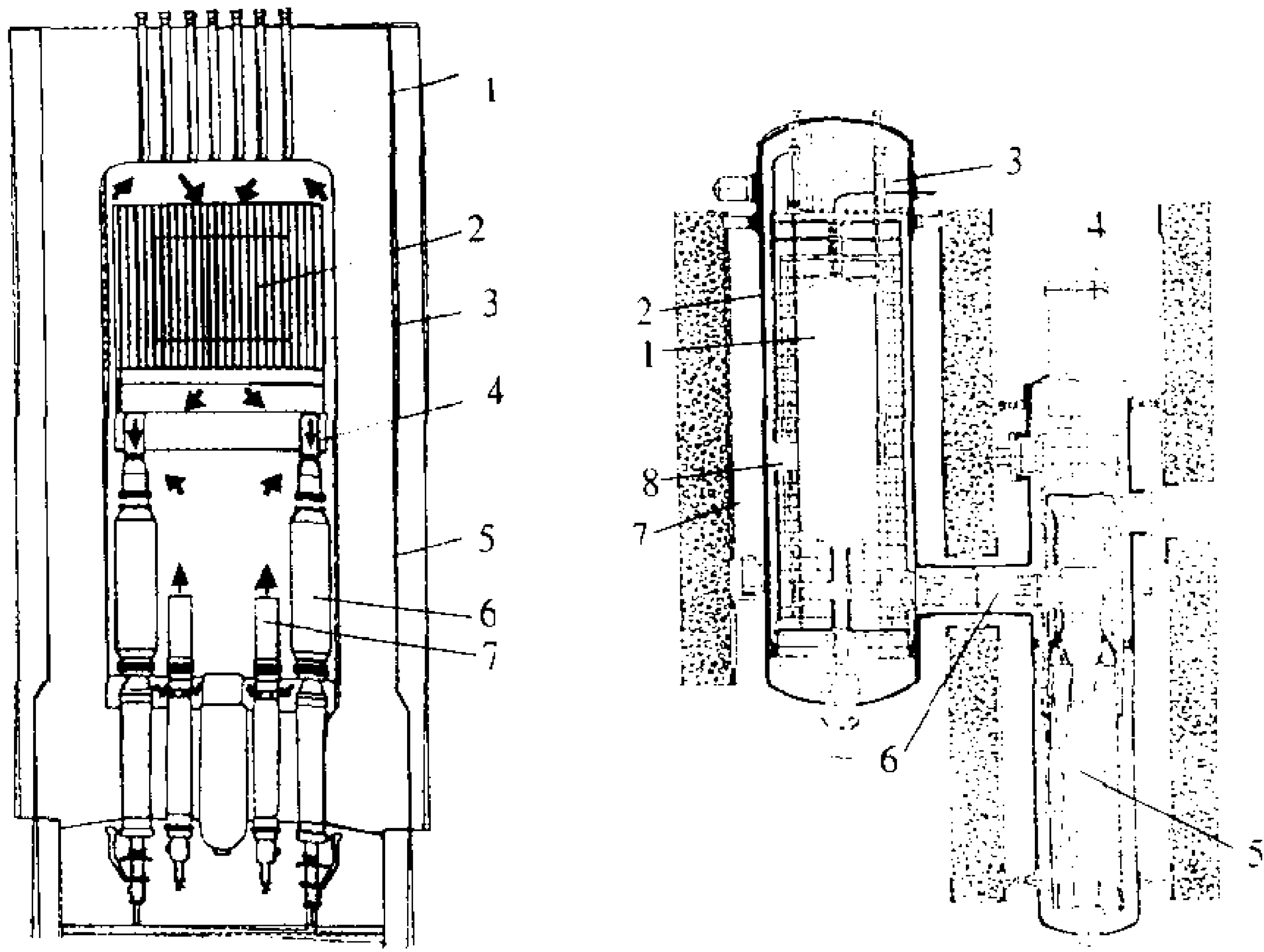
高温化学处理　pyrochemical processing　高温冶金核燃料后处理的一类较有用的方法。它是基于铀、钚、裂变产物元素在高温下的不同化学特性而使铀、钚与裂变产物元素分离。它主要包括熔融精炼法、熔融盐萃取法，熔融盐电解法和熔融金属还原萃取法等。熔融精炼法是美国为处理试验增殖堆Ⅱ(EBR-Ⅱ)燃料而研究的，采用挥发和氧化造渣从钚—铀金属燃料中除去裂变产物。熔融盐萃取法（卤化物造渣法）是基于铀、钚和裂变产物元素在熔融金属和熔盐间的分配比差别而进行分离。此法用于铀的纯化，与电解法一起是高温化学法处理乏燃料较为重要的方法，有潜在的应用价值。熔融盐电解法参见*熔盐电解流程*。熔融金属还原萃取法是根据元素标准电位的差别，在存在还原剂（如锂）时，元素（如锕系与镧系元素）由熔盐 (LiCl-KCl) 进入熔融金属（如镉、铋）的行为不同而进行分离的方法，近年来，利用此法的分离研究取得了较大进展。

（撰写：叶玉星　审订：朱永睿）

gaowen qilengdui

高温气冷堆　high temperature gas-cooled reactor (HTGR)　采用包覆颗粒燃料、用氦作冷却剂、用石墨作慢化剂和结构材料、冷却剂出口温度可达 750～950℃的核反应堆。它可分为两大类：一类是使用棱柱状燃料元件的柱床型高温气冷堆，如图 (a) 所示，另一类是使用球状燃料元件的球床型高温气冷堆，如图 (b) 所示。堆芯外依次为由石墨组成的反射层、热绝缘层和支承结构。用控制棒系统和吸收球停堆系统控制反应性。用氦循环风机驱动氦流动带走反应堆释热。由热气导管连接反应堆本体与热交换器。

氦冷高温堆可以实现 U-Th 燃料循环，成为能利用钍资源的转换堆。它产生的高温不仅可提高发电效率，还可能为氢气还原炼铁、石油或天然气裂解、煤的气化、氢燃料生产和海水淡化等开辟新的途径。



(a) 柱床型　　(b) 球床型

高温气冷反应堆结构示意图

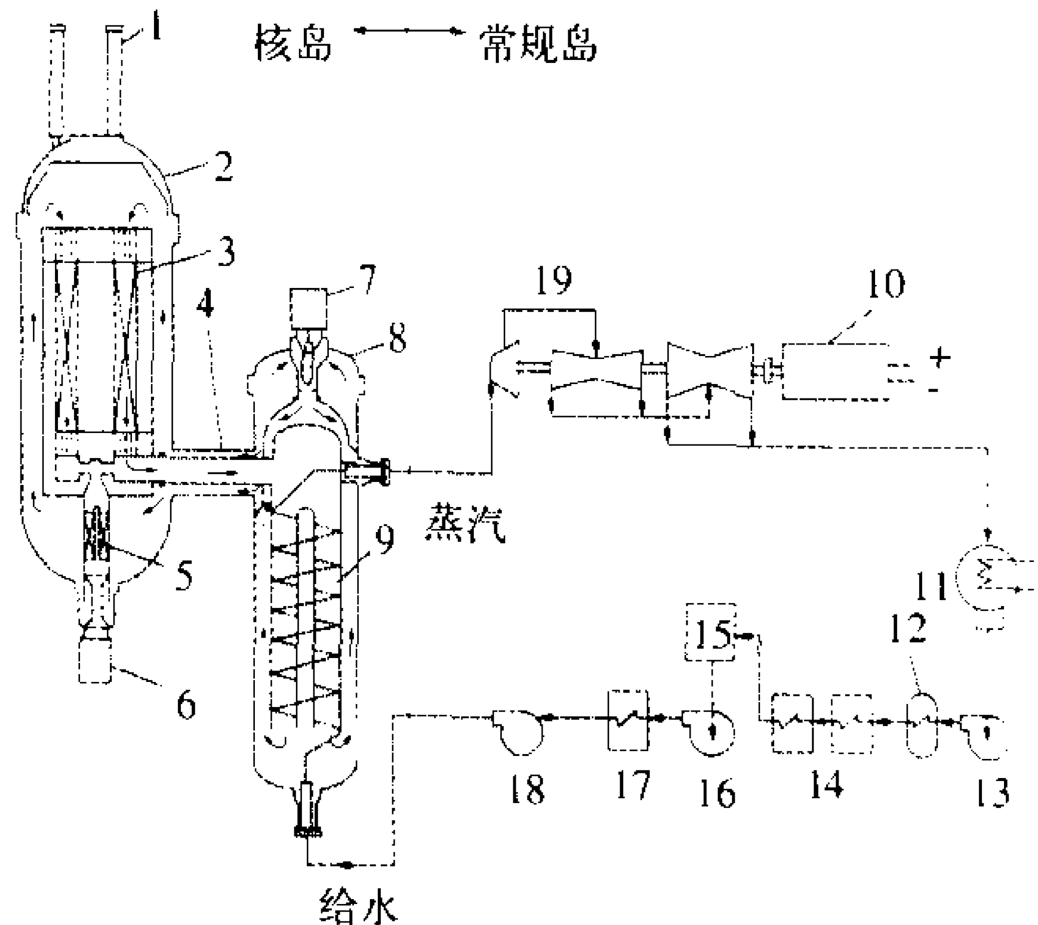
(a) 1—控制棒；2—堆芯；3—石墨反射层；4—热气流道；5—预应力混凝土压力容器；6—蒸汽发生器；7—氦风机

(b) 1—堆芯；2—反应堆压力容器；3—控制棒；4—氦风机；5—蒸汽发生器；6—热气导管；7—屏冷系统；8—堆内构件

（撰写：何树延　审订：张振声）

gaowen qilengdui hedongli zhuangzhi

高温气冷堆核动力装置　HTGR nuclear power unit　用高温气冷堆为热源的核动力装置（见图）。它可以采用蒸汽轮机或氦气轮机发电。用蒸汽轮机发电时，反应堆冷却剂氦在蒸汽发生器内将二次侧的水变为高温高压蒸汽，推动汽轮发电机组发电，这种发电方式的热效率可达 40% 以上。用氦气轮机发电有直接循环和间接循环两种方式，前者是反应堆冷却剂氦直接推动氦气轮机，它排出的氦气经压缩机升压后再回



高温气冷堆核动力装置流程示意图

1—控制棒驱动机构和换料接管；2—反应堆压力容器；3—堆芯；4—热气导管；5—余热排出热交换器；6—余热排出循环风机；7—氦循环风机；8—蒸汽发生器外壳；9—蒸汽发生器；10—发电机；11—主凝汽器；12—除盐器；13—凝结水泵；14—低压给水加热器；15—除氧器；16—增压泵；17—高压给水加热器；18—给水泵；19—汽轮机组

到反应堆，这种方式的热效率可达50%以上；后者则是使反应堆冷却剂氦通过氦—氦热交换器，将二次侧的氦加热成高温高压氦气，用它推动氦气轮机发电机组发电。

（撰写：何树延 审订：张振声）

gaowen qilengdui qiuzhuang ranliao zhuangxie xitong

高温气冷堆球状燃料装卸系统 spherical fuel handling system of HTGR 球床型高温气冷反应堆中新燃料元件、再循环燃料元件和石墨元件在堆芯内装卸、运输和在堆外贮存所用设备的总称。它主要由碎球分离器、燃耗测量装置、分配器、气动提升器、过球阀、氦气阀门以及各种管道组成。新的燃料球、再循环燃料球和石墨球由各自储存设备用气动提升器送入堆芯。由堆芯卸出的各种球经过碎球分选、燃耗测量和射线测量，将乏燃料球、再循环燃料球和石墨球分别送到各自的贮存设备中去。这个装卸过程必须连续进行，不停堆操作，因此燃料装卸设备也必须能够在不停堆条件下进行检查和维修。柱床型高温气冷反应堆的燃料装卸系统与球床型的不同，要采用专用设备在停堆状态下操作。

（撰写：张振声 审订：何树延）

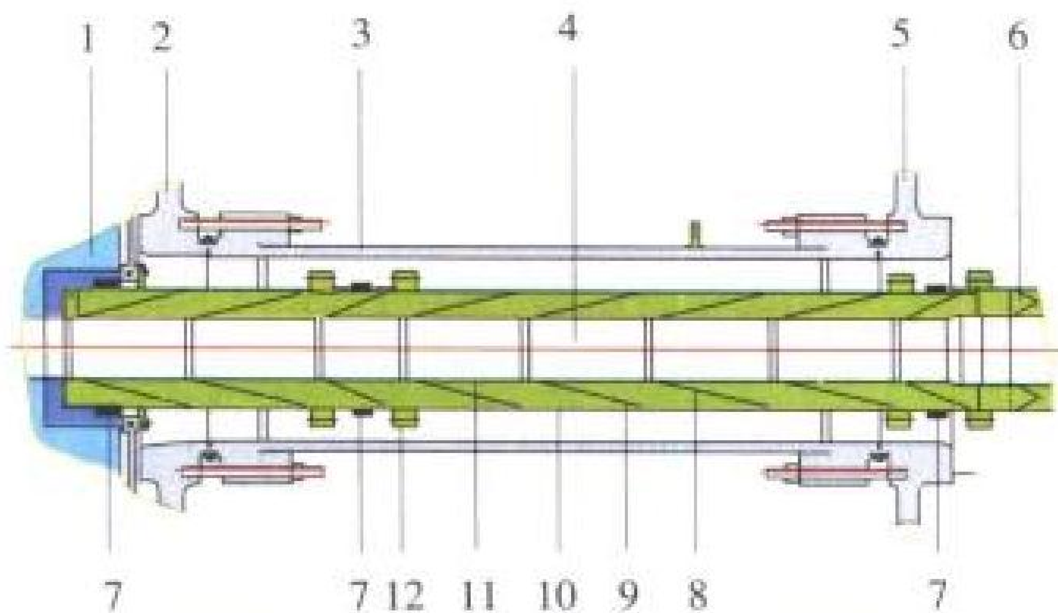
gaowen qilengdui ranliao yuanjian

高温气冷堆燃料元件 HTGR fuel element 高温气冷堆使用的，包覆燃料颗粒（简称包覆颗粒）弥散在石墨基体中的全陶瓷型燃料元件，有球形和棱柱形两种类型。其基本组成单元是直径约0.6～1.0 mm的包覆燃料颗粒（参见包覆燃料颗粒）。柱床形高温气冷堆使用棱柱形燃料元件，它由一块六角棱柱形近各向同性石墨和燃料细棒构成，沿棱柱体轴线方向开有冷却剂通道和装燃料细棒用的燃料孔道（参见棱柱形燃料元件）。球床型高温气冷堆使用球形燃料元件（参见球形燃料元件）。

（撰写：邱学良 审订：李文埮）

gaowen qilengdui reqidaoguan

高温气冷堆热气导管 hot gas duct of HTGR 高温气冷堆的高温氦气出入反应堆容器的套管型管道。高温气冷堆堆芯出口处冷却剂（氦）温度很高，通常在750℃以上。它要经过一段热气导管进入蒸气发生器或中间热交换器，或直接进入氦气轮机。热气导管（见图）有内、外两层管壁。内管壁接触高温氦气，采用耐高温合金材料。为了避免热应力过大，内管壁通常分为若干管段，各管段之间相互间容许热膨胀，因而内管壁通常是不密封的。外管壁则起密封作用，承受管内、外的压差，同时也作为内管壁的支撑。外管壁的温度远低于内管壁。内、外管壁之间为隔热层，采用的隔热材料大多是SiO_2和Al_2O_3陶瓷纤维。（撰写：何树延 审订：张振声）

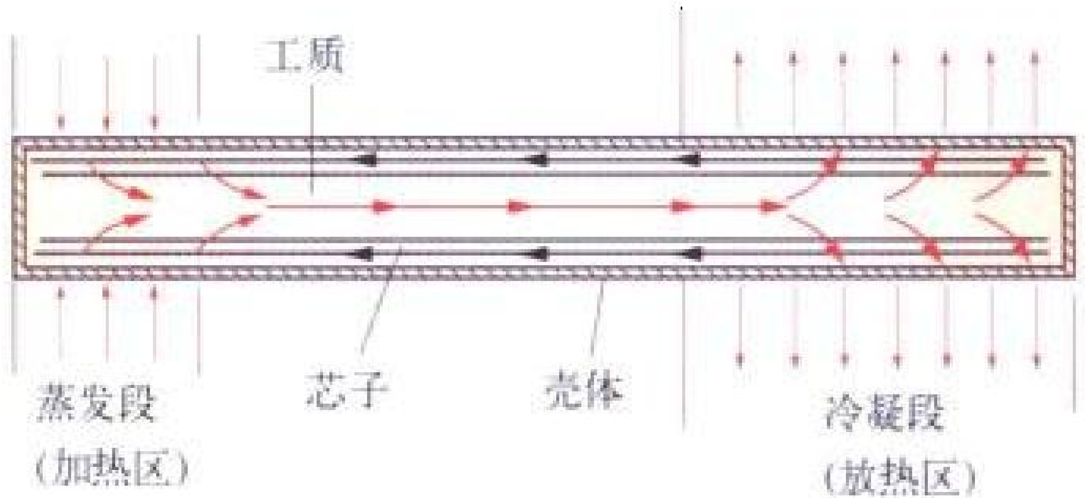


高温气冷堆热气导管示意图

1—堆内结构；2—反应堆压力容器；3—热气导管外壳；4—热气导管内腔；5—蒸气发生器外壳；6—蒸气发生器的高温氦气入口段；7—膨胀节；8—隔热层；9—内管壁支撑管；10—外管壁；11—内管壁；12—连接法兰

gaowen reguan

高温热管 high temperature heat pipe 以钠、钾、锂为工质，依靠一端蒸发、另一端冷凝以实现高效传热的元件。它由壳体、吸液芯和工作液体三部分组成（见图）。它的工作原理是：外热源加热壳体，使工质蒸发、在压差作用下，蒸气到达冷凝段凝结，并放出气体潜热，被凝结的液体进入吸液芯孔隙，在毛细力作用下回到蒸发段，重新蒸发。由于热管结构简单、便于控制、无转动部件、可靠性高、质量轻、温差小、有非常高的传热能力以及在失重状态下能正常工作，因此，在空间反应堆内，以钠、钾、锂为工质，以不锈钢、镍、铝、铌合金为壳体材料的高温热管有下列应用：(1) 用变截面热管提高热离子转换器发射极的热流密度，将反应堆堆芯热量传递给堆芯外热离子转换器发射极；(2) 调节热离子转换器接收极温度；(3) 作余热排放的辐射器。（撰写：杨继才 审订：苏著亭）



高温热管示意图

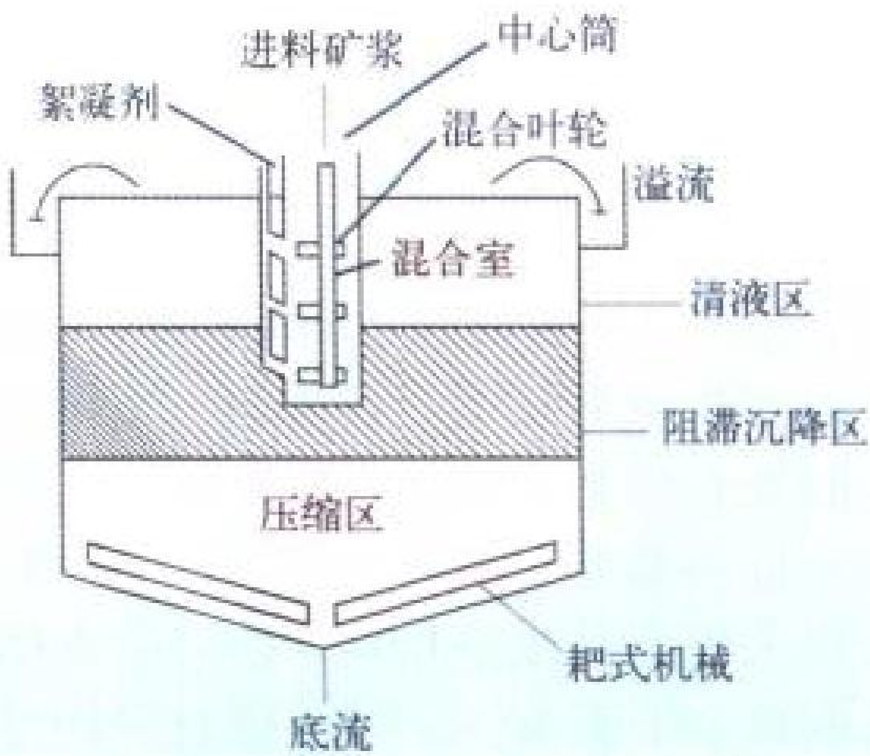
gaowen yejin chuli

高温冶金处理 pyrometallurgical processing 干法乏燃料后处理的一类方法，包括物理法和化学法。物理法是基于铀、钚裂变产物元素在高温下的不同物理性质的处理方法；而化学法是基于铀、钚裂变产物元素在高温下化学特性的差别的处理方法。物理法主要包括蒸馏法、结晶法和熔融金属萃取法。化学法主要包括熔融精炼法、熔融盐萃取法、熔融盐电解法和熔融金属还原萃取法（参见高温化学处理）。

（撰写：叶玉星 审订：朱永赌）

gaoxiao nongmiji

高效浓密机 high efficiency thickener 在普通浓密机基础上，经过改进后具有较高处理能力的新固液分离设备（见图）。与常规浓密机相比，高效浓密机的进料矿浆先在中心筒内与絮凝剂充分混合，固体在最小的剪切力状态被絮凝。絮凝后的矿浆借助长中心筒流进阻滞沉降区表面以下的沉降区内。阻滞沉降层具有过滤作用，使絮凝物更易沉降。高效浓密机的处理能力比常规浓密机提高3～10倍，且底流浓度较大，溢流更清。



高效浓密机配置示意图

（撰写：关自斌 审订：王志章）

G

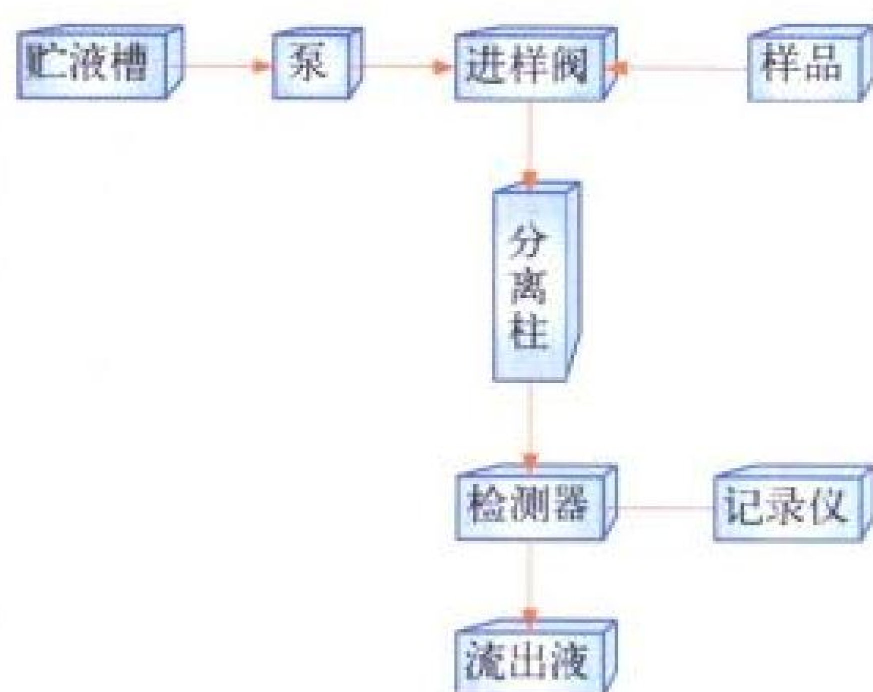
gaoxiao weili kongqi guolüqi

高效微粒空气过滤器 high efficiency particulate air filter (HEPA filter) 一种用来过滤空气中的亚微米级微粒的干式过滤装置，又称为绝对过滤器。在核空气净化和空气超净技术领域内得到广泛应用。该过滤器对加热产生的粒径为 0.3 μm 的单分散邻苯二甲酸二辛酯(DOP)气溶胶微粒的过滤效率不低于 99.97%。核工业通常采用纤维介质作为高效微粒空气过滤器的滤材，其过滤机理是通过碰撞效应、扩散效应、惯性效应、重力效应和静电效应等实现对微粒的捕集。

（撰写：刘春秀 审订：贾 明）

gaoxiao yexiang sepu fenli

高效液相色谱分离 high performance liquid chromatography (HPLC) 采用高压注入液体流动相于封闭式、装有固定相的分离柱进行色层分离的方法。当固定相为离子交换树脂时称为高压离子交换色谱分离。HPLC是20世纪60年代末发展起来的一种分离技术（见图）。



HPLC 仪示意图

HPLC的特点是固定相粒度小、质量交换容量低和交换次数多、分离柱径小、流动相以较高的流速流过柱床；其优点是迅速、连续、高效、灵敏。HPLC 所用的压力一般为 7 MPa。HPLC 常用的固定相有硅胶、硅胶为基质的键合相、氧化铝和离子交换剂，常用的离子交换剂有全多孔型和薄球型树脂。HPLC 已成功地用于裂变产物中的稀土元素分离和原子序数大于 95 的锕系元素的相互分离。

（撰写：张丕禄 审订：郭景儒）

gaoxingneng ranliao yuanjian

高性能燃料元件 high performance fuel element 具有比目前通用燃料元件燃耗更深、运行更可靠、对工作环境适应性更好、抵御芯块—包壳相互作用能力更强（安全、经济、可靠性指标更好）的燃料元件。与目前所用的燃料元件相比，高性能燃料元件在芯块设计、包壳选材、燃料棒的结构设计等方面都有重大改进。如采用大晶粒芯块、中空芯块；采用抗腐蚀性能更强的包壳材料（ZIRLO，M–5 等）；减小燃料棒径、在芯块与包壳之间加设衬层等措施（参见中空芯块、大晶粒芯块、ZIRLO合金、M–5 合金）。高性能燃料元件优点很多，仅深燃耗一项，经济效益就十分可观。

（撰写：张忠岳 审订：黄玉才）

gaoxingneng ranliao zujian

高性能燃料组件 high performance fuel assembly 具有比当前所用燃料组件更好的运行可靠性，更节约中子、燃耗更深、换料周期更长的更先进的燃料组件。高性能燃料组件以高性能燃料元件为基础（参见高性能燃料元件），同时，对各有关结构部件采取多种改进措施，如采用全锆格架和混流格架；采用可拆卸上下管座，下管座设置异物过滤装置；加大导向管刚度，减小压紧弹簧压力；采用轴向反射段等。

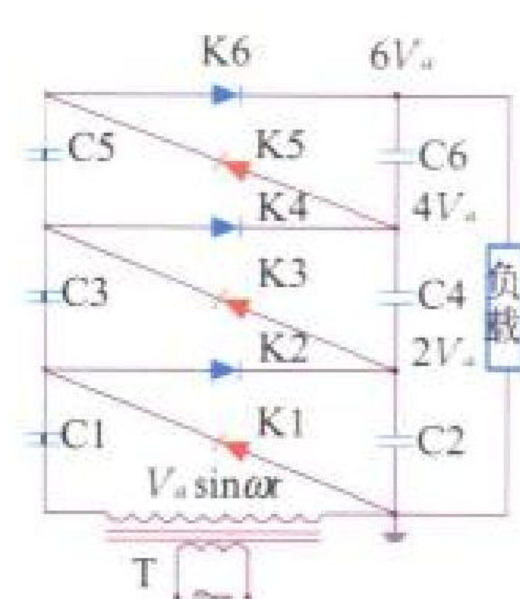
（撰写：张忠岳 审订：黄玉才）

gaoya beijiaqi

高压倍加器 Cockcroft–Walton accelerator 利用倍压整流方法产生直流高压，对离子或电子加速。其倍压整流工作原理如图所示，主要由高压变压器，高压整流器和高压电容器等组成。在无负载时，倍压整流线路输出的高压 V 随倍压级数 n 增加而线性增加，可表达为

$$V = 2nV_a$$

式中 V_a 为高压变压器T的次级绕组交流电压峰值。当有负载时，随着级数 n 的增加，线路的电压降和电压波动会严重增加，因此级数 n 不能太高。一般倍压整流器可输出直流高压从几百千伏（大气中）到兆伏级（高气压下）。高压倍加器由高压倍压整流电源，离子源（或电子枪），加速管、聚焦和传输系统，真空和控制系统组成。高压倍加器的输出功率较大，可以用作较理想的中子源，X 光源和离子注入机。

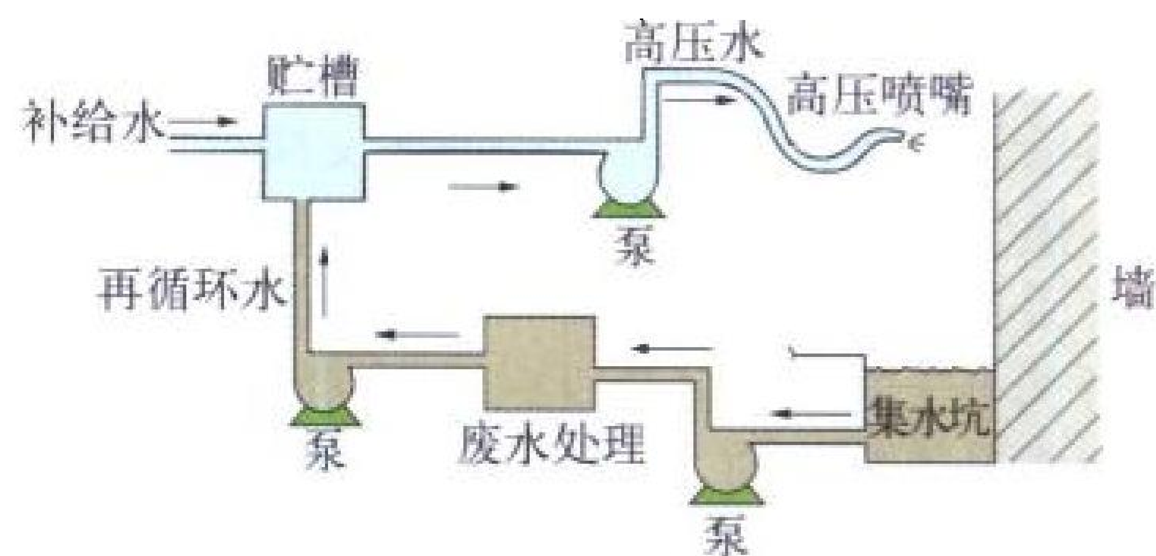


三级倍压整流原理图

（撰写：秦久昌 审订：关遐令）

gaoyashui quwu

高压水去污 high pressure water decontamination 用高压喷射水流的物理冲击力进行去污的过程（见图）。高压水去污包含附着于表面上的污染物颗粒的剥离和剥离后颗粒的传输两个阶段。当喷射水流生成的水滴冲击污染物颗粒时，水滴发生变形产生的力使它朝径向扩张，将附于表面的颗粒剥离，并被在表面上形成的运动水膜带走，完成了去污过程。高压水去污可用于难以接近进行擦洗或擦洗工作量太大的表面，包括金属和混凝土表面。该法常用的压力为35～70 MPa。去污效果与喷嘴类型、水流的压力、速度及流量有关。高压水去污已成功地用于核电厂主泵部件、压力容器、燃料组件装卸设备、乏燃料水池中格架的去污。在水中添加磨料（如微玻璃球、氧化铝、碳化硅、陶瓷体等）和化学试剂可提高去污效果。



高压水去污流程示意图

（撰写：王显德 审订：孙东辉）

gaoya zhuangtai fangcheng

高压状态方程 equation of state in high pressure domain 高压下物质的任何一个热力学状态参数与其他两个状态参数的关系式。例如平衡时压力可以表达为密度和温度的函数。状态方程描述物质的基本特性，是任何设计和研究中不可缺少的。状态方程可以通过实验或者理论给出。100×10^{12} Pa 以上的物质状态方程可由理论相当准确地给出。低于此压力需要由实验确定状态方程，或者由实验检验理论。100×10^{9} Pa 以下可通过化爆和其他实验室手段获得状态方程数据。利用高功率激光驱动高压冲击波已成为数百吉帕到 100 TPa 高压

状态方程研究的有效手段。直接测量冲击波速度D和波后粒子速度u给出状态方程的方法叫绝对测量。分别测量标准材料（已知状态方程）和待测材料冲击波速度D得到状态方程的方法叫相对测量。　　（撰写：罗平庆　审订：常铁强）

gaozengyi ba

高增益靶　high gain target　实现能量高增益的靶。热核反应释放的能量与驱动器输出能量的比值称为靶的能量增益。增益接近或大于 100 的是高增益靶。

$$G = 334\frac{fM}{E_L}$$

式中 334 为烧掉 1 mg 氘氚所释放的热核反应能（MJ/mg）；f为燃耗；M为氘氚装量（mg）；E_L为驱动器的输出能量（MJ）。提高增益的关键在于降低单位氘氚装量对驱动器能量的要求和提高燃耗 f。以一个间接驱动中心点火高增益模型为例：5 mg 氘氚装量，燃耗 1/3，热核释能约为 557 MJ；0.1 mg 点火质量，4.9 mg 主燃料质量，点火和压缩共需能量约 0.1 MJ，假定驱动器—靶燃料耦合效率约为 2%，因而要求驱动器输出能量约为 5 MJ；增益为 110 左右。

（撰写：李沄生　审订：常铁强）

gaozhengtixing rongqi

高整体性容器　high integrity container (HIC)　一种特殊设计和制造的强度大、密封性好、化学稳定性和热稳定性高，可以用来装载未经固化或固定的低、中放固体放射性废物的包装容器。因为高整体性容器由专门设计和特殊材料制造，其寿命超过 300 年，所以可将低中放废物（如沥去水的废树脂、焚烧炉灰烬）不经固化或固定，直接装在里面，送处置场安全处置。例如，美国处理三里岛事故去污产生的废树脂就是直接采用高整体性容器包装并处置的。高整体性容器形式多样。日本制造的一种高整体性容器为多层结构，外层是钢，内层是钢筋增强聚合物浸渍混凝土，中层是浸渍聚合物。高整体性容器成本比较高，尚在开发研究阶段。

（撰写：罗上庚　审订：范显华）

gao zixuantai

高自旋态　high spin state　自旋大于10$\hbar$的核态（自旋高低之间并无明确的界限）。实验上，可以通过多重库仑激发、重离子熔合蒸发反应、重离子熔合裂变反应和深度非弹性散射来布居原子核高自旋态（见图 1）。

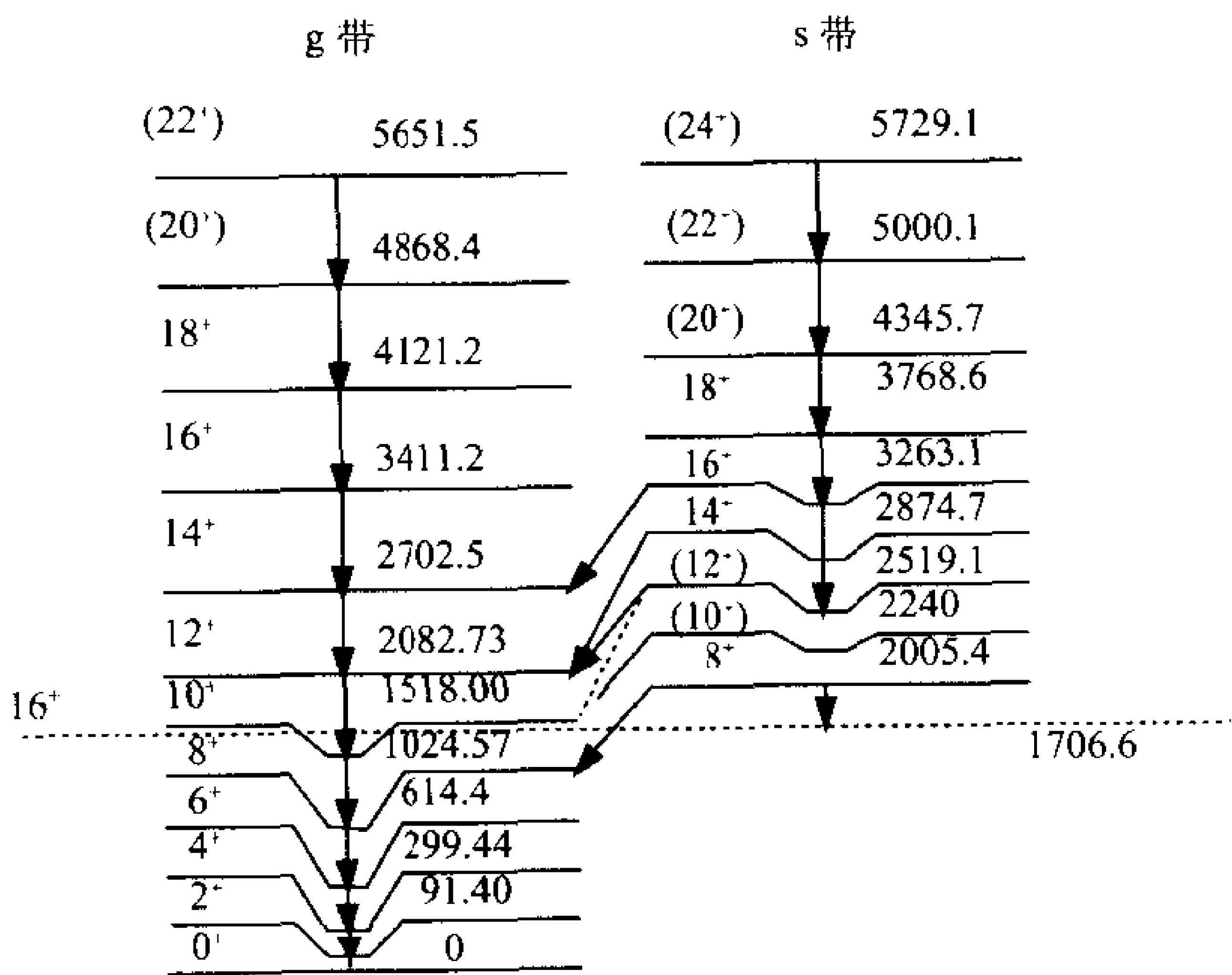


图 1　^{164}Er 的部分能级（keV）纲图

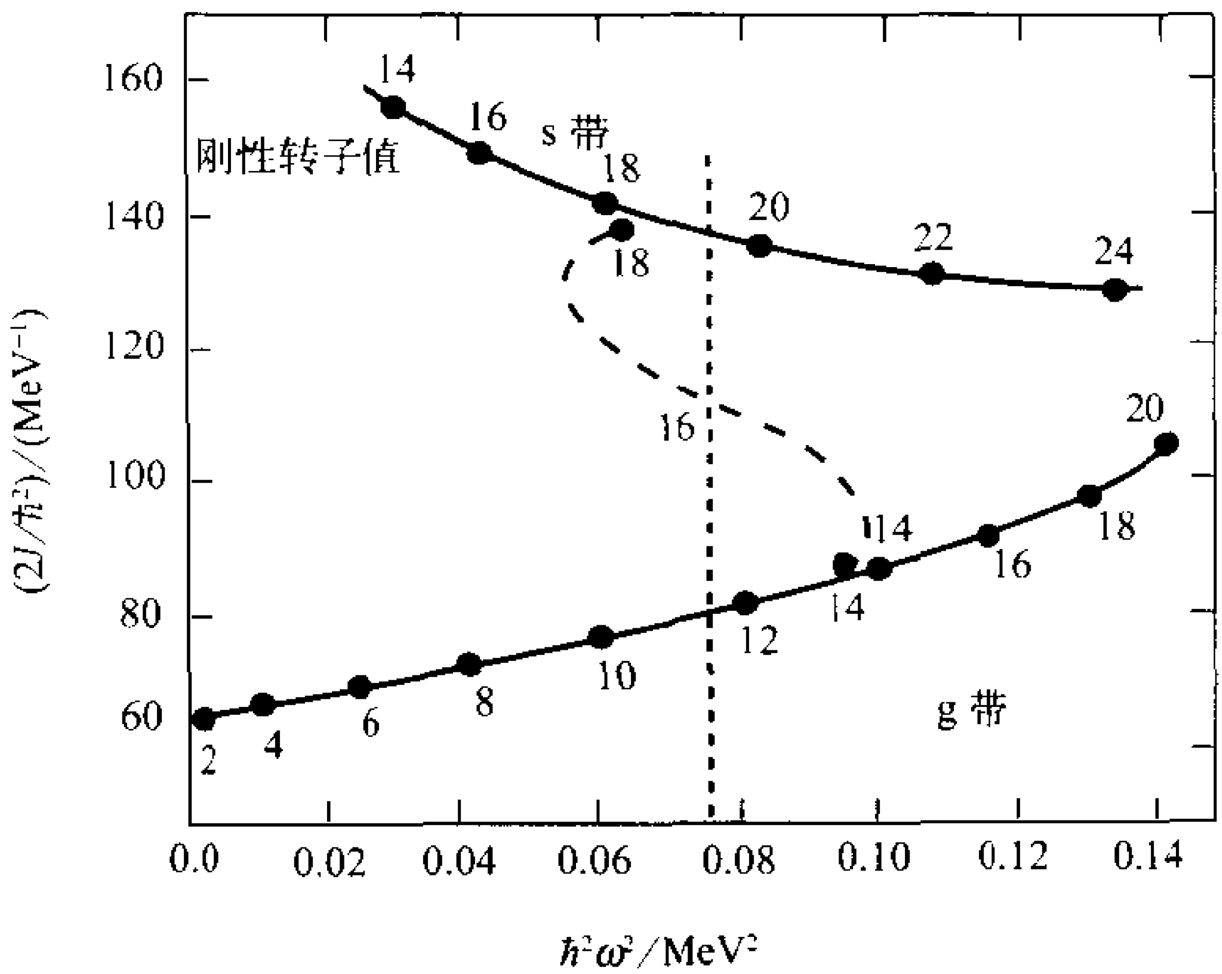


图 2　^{164}Er 的回弯现象

在高自旋态研究中，一个重要的现象是“回弯（backbending）现象”（见图 2）。对于这种现象，目前已被广泛接受的解释是转动顺排模型。该模型认为，回弯现象的实质是两种不同性质的转动带的带交叉（band crossing），图中 g 带（基态带，ground state band）与 s 带（超带，super band；或称斯德哥尔摩带，stockholm band）在自旋I=16$\hbar$处发生了交叉。目前，一个比较重要的前沿领域是高自旋超形变（superdeformed）核的研究。由于壳效应和转动效应，原子核存在比正常形变大的激发态，对应着原子核势能—形状曲线（或曲面）上的第二极小，相应形变的长短轴比为 2∶1，称为超形变态。　　（撰写：周善贵　审订：卢希庭）

gaobaoqiao fuzhao shengzhang

锆包壳辐照生长　irradiation growth of zircaloy cladding　燃料元件锆包壳管在不受机械载荷作用下，单纯由中子辐照引起的轴向伸长现象。在辐照生长过程中，材料基本上保持体积守恒。因此，伴随轴向伸长，管子径向将有一定程度的收缩。辐照生长的程度与中子注量及辐照温度有关，也与材料的加工工艺有关。包壳管在定位格架跨距间，如果夹持力太大，不能自由伸长，就会因轴向压力而屈曲，导致管与管之间的流道面积发生变化，影响传热（参见*燃料棒弯曲*）。压水堆燃料组件上下管座之间为燃料棒自由伸长所留的间隙，应大于燃料包壳管各段的辐照生长和热膨胀的总和，以免发生燃料棒的挠曲。　　（撰写：张忠岳　审订：黄玉才）

gao de xingwei

锆的行为　behaviour of zirconium　乏燃料后处理工艺中裂变产物元素锆的化学行为。锆主要的氧化态是正四价，在水溶液中易水解和形成胶体。锆的裂变产额高，在乏燃料后处理工艺的溶解液中锆浓度较大，会与裂变产物元素钼（也是高产额的裂变产物元素）形成沉淀，沉淀物主要是 $Zr(MoO_4)_2{\cdot}xH_2O$。其沉淀速度慢，在过滤后的清液存放过程还会出现次级沉淀，造成溶解液不稳定。锆在硝酸溶液中的形态可表示为 $[Zr(OH)_x(NO_3)_y(H_2O)_{6-x-y}]^{(4-x-y)}$，$x$ 和 y 值取决于硝酸浓度。磷酸三丁酯（TBP）可萃取锆，萃合物主要是 $Zr(NO_3)_4{\cdot}nH_2O{\cdot}2TBP$。TBP 的降解产物 HDBP 和 H_2MBP 对 Zr^{4+} 的络合能力很强，$Zr(NO_3)_x(DBP)_{4-x}(HDBP)_{4-x}$ 进入有机相，分配比很高。若形成 $Zr(NO_3)_x(DBP)_{4x}$，则成为界面物留在相际。H_2MBP 与锆形成 $Zr(MBP)_2$ 沉淀积于相际也成为界面物。HDBP 和 H_2MBP 与锆形成萃取界面物的反应中都放出H^+，所以酸度是影响界面物的

敏感因素。锆除了会和锝共萃取外，还会和裂变产物元素铌共萃取，使铌的分配比明显增大。

（撰写：林灿生 审订：朱永濬）

gao 2 hejin

锆-2合金 zircaloy-2 以锆为基材，加入约1.5%锡，0.12%铁，0.1%铬和0.05%镍等元素组成的一种Zr-Sn系合金。Zr-2合金在200～400℃水中表面生成黑色致密的氧化膜，腐蚀速率最初随时间而递减，经过转折点后成为常数。合金中的氮、氧杂质使腐蚀加剧，材料的组织状态、表面质量和冷却剂成分都对其腐蚀性能有影响。但在沸水堆的水质条件下，Zr-2合金具有良好的耐蚀性，至今仍被用作燃料包壳材料。Zr-2合金的缺点是合金成分中的镍是吸氢的元素，大量吸氢可能导致包壳变脆。另外，快中子作用引起的包壳管的轴向伸长（参见*锆包壳辐照生长*）也是值得注意的问题。

（撰写：王树人 审订：李文埮）

gaohejin baoqiao de fushi

锆合金包壳的腐蚀 corrosion of zirconium alloy cladding 燃料元件包壳的锆合金和周围介质接触并发生化学、电化学反应而引起材料的逐渐破坏或变质的过程。锆合金包壳在高温水及蒸汽中的腐蚀行为有：(1)均匀腐蚀。锆合金包壳在高温水中先生成黑色致密、附着力强的保护性氧化膜。之后，氧化膜不断增厚，变为灰褐色。氧化膜进一步加厚，在拉应力作用下，开始剥落。影响锆合金腐蚀速率的因素包括合金中杂质（氮、碳、铝）、水质（氧含量）和堆内运行条件（燃料棒线功率）。(2)非均匀腐蚀。疖状（透镜状氧化物）腐蚀是锆合金包壳在富氧高温水中（一般发生在沸水堆包壳表面）的一种局部腐蚀，最大厚度可达100 mm以上，严重时可连片剥落。控制冷却剂中氧含量、采取β相或α相上部温区热处理可改善抗疖状腐蚀能力。(3)包壳内壁应力腐蚀开裂(SCC)是高燃耗下的局部腐蚀行为（参见*应力腐蚀开裂*）。

（撰写：王树人 审订：李文埮）

gaohejin baoqiao de qingcui

锆合金包壳的氢脆 hydrogen embrittlement of zirconium alloy cladding 原子氢渗透入燃料元件锆合金包壳内部，生成氢化物而降低金属塑性的现象。锆合金包壳外表面水侧腐蚀释放出的氢，部分溶解在基体金属中。在室温下它以片状或针状氢化锆(ZrH_x)夹杂物形式在α-Zr晶内或晶界析出，在150℃以下氢化锆为脆性相，使锆合金塑性下降。高于150～200℃时，氢脆基本消失。锆合金的氢脆来源于呈垂直于拉应力分布的片状氢化锆。它是在包壳管制造的最后一道冷轧工序中，有应力时形成的。为减少脆化，应尽量防止氢化物的径向排列。在堆内寿期末，包壳管吸氢量设计限值为250×10^{-6}。锆合金包壳内表面从芯块中和从包壳缺陷进入的水分中吸氢引起的脆化破损称为内氢化破损，严重时形成向外壁呈辐射状脆性氢化物，称为太阳状破裂。减少芯块含水量，限制堆内包壳工作温度，可减少包壳吸氢量，防止由氢脆引起的包壳破损。（撰写：王树人 审订：李文埮）

gao he gaohejin

锆和锆合金 zirconium and zirconium alloys 纯锆和以锆为基材加入锡、铌等元素组成的合金。锆的热中子吸收截面0.18 b。天然锆矿中一般含有0.5%～1%的铪，因铪的热中子吸收截面很大，提取锆需分离铪。锆在862℃发生相变，由密集六方的α-Zr转变为体心立方的β-Zr。锆的化学性质活泼，高温下易与氧、氮等气体反应。纯锆在高温水中的耐蚀性对锆中的杂质（特别是氮）极其敏感。在锆中添加锡、铌、铁、铬、镍等可改进其对高温水及水蒸气的耐蚀性，同时也提高了强度。反应堆常用锆合金可分为Zr-Sn系（如Zr-2和Zr-4合金）、Zr-Nb系（如Zr-1-Nb，M5合金）和Zr-Sn-Nb系（如ZIRLO合金）。（撰写：王树人 审订：李文埮）

gao shuifanying

锆—水反应 zirconium-water reaction 在压水堆丧失冷却剂事故的条件下燃料元件锆合金包壳与水蒸气发生的剧烈化学反应。锆水反应是放热反应，生成ZrO_2和H_2。反应后包壳温度急剧升高，氢进一步向内壁扩散，在包壳外表面将依次形成鳞片状ZrO_2、氧稳定的α-Zr(0)相及中央的β-Zr相，前两者都是脆性相；同时包壳又大量吸氢，可能引起氢脆。另一方面，燃料棒内气压迅速增高，发生包壳隆起，使冷却剂流道堵塞，传热恶化。严重时产生爆破，导致堆芯破坏。为此必须采取安全措施以满足下列设计准则：(1)包壳最高温度低于1204℃；(2)包壳最大氧化层不超过包壳厚度的17%；(3)包壳最大吸氢量不超过全部包壳参加反应产氢量的1%；(4)堆芯保持可冷却的几何构形以保证能长期冷却。

（撰写：谢惠佑 审订：李文埮）

gao 4 hejin

锆-4合金 zircaloy-4 alloys 以锆为基材,加入约1.5%锡，0.2%铁和0.1%铬等元素组成的一种Zr-Sn系合金。Zr-4合金的成分和性能基本上与Zr-2合金的相同，但不含镍，而适当提高铁含量，以抑制其因吸氢而变脆的现象。Zr-4合金的吸氢量仅是Zr-2合金的1/3～1/2。但在富氧水中、Zr-4合金的腐蚀速率稍高于Zr-2。目前，Zr-4合金已广泛用作压水堆的燃料包壳、控制棒导向管及定位格架等材料。Zr-4合金的缺点是在高温蒸汽中的腐蚀氧化膜不再是致密的、容易发生剥落。（撰写：王树人 审订：李文埮）

gaoxi hejin

锆—锡合金 zirconium-stannum alloys 以锆为基材，加入锡和少量铁、镍、铬元素组成的合金。添加锡元素可减轻氮对腐蚀的有害作用，还能强化合金。适量的铁、铬、镍与锆形成金属化合物，通过热处理，提高强度，也可降低腐蚀速率。Zr-Sn系合金，如Zr-2合金和Zr-4合金已广泛用作水冷动力堆的包壳材料和堆芯结构材料。加入锡、铁、镍和铌的奥泽尼特合金，其抗蚀性与Zr-2合金的相似。

（撰写：王树人 审订：李文埮）

gao 1 nihejin

锆-1-铌合金 Zirconium-l-niobium alloys 以锆为基材，加入1%铌组成的一种Zr-Nb系合金。铌的热中子吸收截面较小(1.5 b)，对合金的热中子吸收截面无明显影响，铌可减轻少量杂质氮、碳、铝、钛对腐蚀的有害作用。Zr-1-Nb合金的腐蚀速率在较长时间内不出现转折现象；在氧化膜剥落处能新生成具有保护能力的氧化膜，即具有自愈能力。在水冷动力堆内使用时，其耐蚀性略次于Zr-2和Zr-4合金，但在高于400℃的蒸汽中却优于Zr-2和Zr-4合金。在高温水和水蒸气中，Zr-1-Nb合金的吸氢量仅为Zr-Sn合金的1/5～1/10。Zr-1-Nb合金还具有中等的强度。

（撰写：王树人 审订：李文埮）

gao zhishu

锆指数 zirconium index 衡量萃取法核燃料后处理所用溶剂降解程度的指标之一。指被测溶剂在一定条件下萃取^{95}Zr，接着用3 mol/L的HNO_3洗涤三次，以除去被萃取剂络合的锆后，测得在10^9L溶剂中保留锆的摩尔数。锆指数越大，表示溶剂降解越严重。锆指数还可以用来检测溶剂的稳定性，在相同降解条件下，锆指数大的溶剂表示其稳定性差。

（撰写：张琴芬 审订：朱永𬭚）

ge rui

戈[瑞] gray (Gy) 国际单位制(SI)中吸收剂量、比释动能和比授与能的单位专用名称。

$$1\ Gy = 1\ J{\cdot}kg^{-1}$$

它与曾使用过的单位专用名称拉德(rad)之间的关系

$$1\ Gy = 100\ rad\ 。$$

（撰写：董柳灿 审订：陈竹舟）

geren jiliang dangliang

个人剂量当量 personal dose equivalent [$H_p(d)$] 人体某一指定点下面适当深度d处的软组织内的剂量当量。个人剂量当量$H_p(d)$的单位为焦耳每千克（$J{\cdot}kg^{-1}$），专用单位名称为希沃特(Sv)。深度d用毫米(mm)表示。对于弱贯穿辐射，皮肤的深度为0.07 mm，眼晶体的深度为3 mm，该深度的个人剂量当量分别以$H_p(0.07)$和$H_p(3)$表示。对于强贯穿辐射，通常使用的深度为10 mm，并以$H_p(10)$表示。以往对上述两个量分别称为浅表个人剂量当量$H_s(d)$和深部个人剂量当量$H_p(d)$。就吸收剂量而言，亦可以定义类似个人剂量当量的量，即称为个人吸收剂量$D_p(d)$。

（撰写：董柳灿 审订：潘自强）

geren jiliangji

个人剂量计 personal dosimeter 供个人佩带的旨在测定佩带者所受到的吸收剂量或当量剂量大小的小型剂量计(见图)。它的基本构成包括探测器或一种或多种辐射敏感元件，有时加有适当过滤材料的支架部分，主要可测量X、γ、β辐射以及热中子剂量。按佩带部位的不同，个人剂量计可以分为佩带在胸前的躯干剂量计和佩带在手指、足等部位的肢端剂量计两大类。前者在于测定辐射对全身照射的大小，后者在于测定辐射对肢体的局部照射的大小。按探测器或敏感元件的不同，又可以分为胶片剂量计（胶片佩章）、热释光剂量计、光致荧光剂量计、电子剂量计、袖珍或直读剂量计(剂量笔)等。其中最早广泛采用的剂量计是胶片剂量计，可以监测γ、β辐射和热中子，为了克服它较强的能量依赖性，一般均需覆盖适当的过滤片。以热释光材料为敏感元件的热释光剂量计，由于它具有组织等效性好、响应的线性好、量程较宽、可重复使用等优点而得到越来越广泛的应用。电子剂量计是采



几种个人剂量计

用盖革计数器或硅二极管为探测器的个人剂量计，它们一般可同时指示累积剂量和剂量率，并且还具有视听报警功能，可同时作为报警用剂量计。袖珍式直读剂量计，又称剂量笔，是较早采用的个人剂量计，它实际上是一个带石英丝指示的小型电离室，石英丝的偏转正比于电离室所测到的该点的剂量，可以被直接读出（当然与此类似的非直读式电容电离室型剂量笔，目前仍然还在采用）。这种剂量计简单、便宜，但是灵敏度较低，且有用的剂量范围较窄（只有20倍左右）。

（撰写：夏益华 审订：胡遵素）

geren jiliang xianzhi

个人剂量限值 individual dose limit 国家有关审管部门对受控实践中个人所受的个人剂量规定的不得超过的有效剂量或当量剂量值。其目的在于防止确定性效应的发生，并将随机性效应限制在可以接受的水平。对辐射照射危险的可容忍程度可以用“不可接受的”、“可忍受的”和“可接受的”三个词来表示。个人剂量限值是“不可接受的”和“可忍受的”区域的分界线，如图所示。个人剂量限值是不可接受的剂量范围的下限，而不是可以接受的剂量范围的上限，它是辐射防护最优化过程的一个约束上限，不能直接用于设计和工作的安排。个人剂量限值只适用于可控源或实践，不适用于事故照射和医疗照射，也不适用于干预。



剂量限值与各种剂量水平的关系

（撰写：张延生 审订：马吉增）

geren jiance

个人监测 individual monitoring 用辐射工作人员个人佩带的剂量计或个人采样装置进行的测量或对其体内及排泄物中放射性核素种类和活度所作的测量，以及对测量结果进行的分析和解释。监测的主要目的是对主要受照射的器官和组织所接受的平均当量剂量或有效剂量作出估算，进而限制辐射工作人员个人接受的当量剂量，并且证明辐射工作人员接受的当量剂量是符合有关国家标准的规定。监测的另外一个目的是提供辐射工作人员所接受当量剂量的变化趋势和有关工作场所的照射状况以及有关事故照射的资料。个人监测可分为常规监测、任务监测和特殊监测三种不同类型。依据辐射工作人员受照射的情况，个人监测又可分为外照射个人监测和内照射个人监测。对于外照射个人监测，根据辐射工作人员的工作性质、接受剂量的大小、剂量计的最小可探测限和剂量计的衰退特性等确定外照射个人监测周期。对剂量计的基本要求是，应能对正常和异常操作情况下所有可能遇到的各种辐射、能量、剂量和剂量率都能以适当的准确度估算出所接受的当量剂量。关于剂量计佩戴的位置，若仅使用一个剂量计，则应佩带在代表躯干表面受照射最大的部位。对于内照射个人监测，应在了解和分析放射性工作场所及其操作工艺的特点、物料特性以及操作人员的技术熟练程度等情况的基础上，结合工作场所已有的监测资料，确定出有害因素和需要进行监测的放射性核素的种类，再根据辐射工作人员

的工作条件、操作量大小、放射性核素的种类和物理化学形态、监测方法的探测下限、工作场所发生事故性释放的可能性以及放射性核素在人体内的代谢规律等确定监测频度和监测方法。监测方法主要包括利用化学分析程序和物理测量方法相结合的方法和利用全身计数器、肺部计数器、甲状腺计数器以及伤口探测器进行测量。根据有关摄入放射性核素的物理化学性质、摄入时间和方式、放射性物质在人体内的代谢模式等资料以及监测数据，可估算出各器官或组织的待积当量剂量或个人所受的待积有效剂量。

（撰写：董柳灿　审订：胡遵素）

geren xiangguan zhaoshe

个人相关照射　individual related exposure　所考虑的照射是一个给定的个人受到的所有有关的源的照射。有别于源相关照射。如果包括天然源在内，则所有个体一般均受到多个源的照射。个人相关照射和源相关照射评价的概念是国际放射防护委员会1990年建议书引入的。辐射防护体系中的个人剂量限值旨在保护个人。由于源相关的评价只考虑该源本身产生的个人剂量而不考虑其他源对此人的作用，所以还需要对来自所有有关源的总个人剂量作出个人相关的评价，以确定是否有任何个人负担着过高的随机性效应概率。另外，在进行源相关照射的防护与安全最优化过程中，还应使用分配给该源的剂量约束值，以防止个人因受到多个源的照射而使其总剂量超过限值。　（撰写：金月如　审订：马如维）

genghuan dajimubiao nengli

更换打击目标能力　re-targeting capability　处于待发状态的导弹系统，当接到需要更换打击目标的指令时，该系统所具备的选择目标和重新装订目标诸元的能力。更换打击目标能力主要取决于诸元数据的装订储存、导弹瞄准系统以及制导系统的性能，它是衡量导弹武器系统的反应能力和火力机动能力的一个重要指标。为获得快速更换目标能力，通常采用计算机预储多个目标信息，并实现诸元装订的自动化，使更换目标时导弹能快速重新装订诸元参数，实施发射。以美国民兵－Ⅲ（Minuteman－Ⅲ）导弹为例，通常导弹制导计算机的目标磁带上装订有4组待选打击目标，其中1组是主要的，其余几组可由发射控制中心进行选择。在这种情况下，导弹更换打击目标过程瞬间即可完成。如果要在上述4组目标外选择打击目标，那就需要利用弹上的指令数据转换系统，重新装订新目标诸元，这一过程也仅需25～26 min。显然，美国民兵－Ⅲ导弹具有很强的更换打击目标能力。

（撰写：段占元　修订：叶名兰　审订：唐西生）

gongcheng pingzhang

工程屏障　engineered barrier　具有延迟或防止放射性物质迁移释放进入人类生活环境的人工屏障设施。工程屏障是多重屏障系统的重要组成部分。放射性废物处置场（库）中工程屏障包括废物体、废物包装容器、回填材料、处置单元构筑物、顶盖和覆盖层等。低中放废物近地表处置场的工程屏障用以防止地表水和地下水渗入处置单元浸泡废物体、防止深根植物和穴居动物侵扰、防止和延缓处置单元受风化侵蚀，在废物与人类生活环境之间提供有效的隔离。（撰写：黄雅文　审订：陈式）

gongcheng yinzi

工程因子　engineering factor　由于燃料组件（元件）制造和安装等工程因素引起的热工不确定性，也称为工程不确定因子。对于燃料元件热流密度来说，有燃料富集度、芯块密度、芯块尺寸等加工偏差造成的热流密度工程因子。对于热通道比焓升来说，有上述因素加上流道几何尺寸和流量等偏差造成的比焓升工程因子。在确定总的工程因子时，早期将各个工程因子相乘，十分保守。现在则考虑各种因素的随机性，用统计法进行处理，以减少过度的保守性。

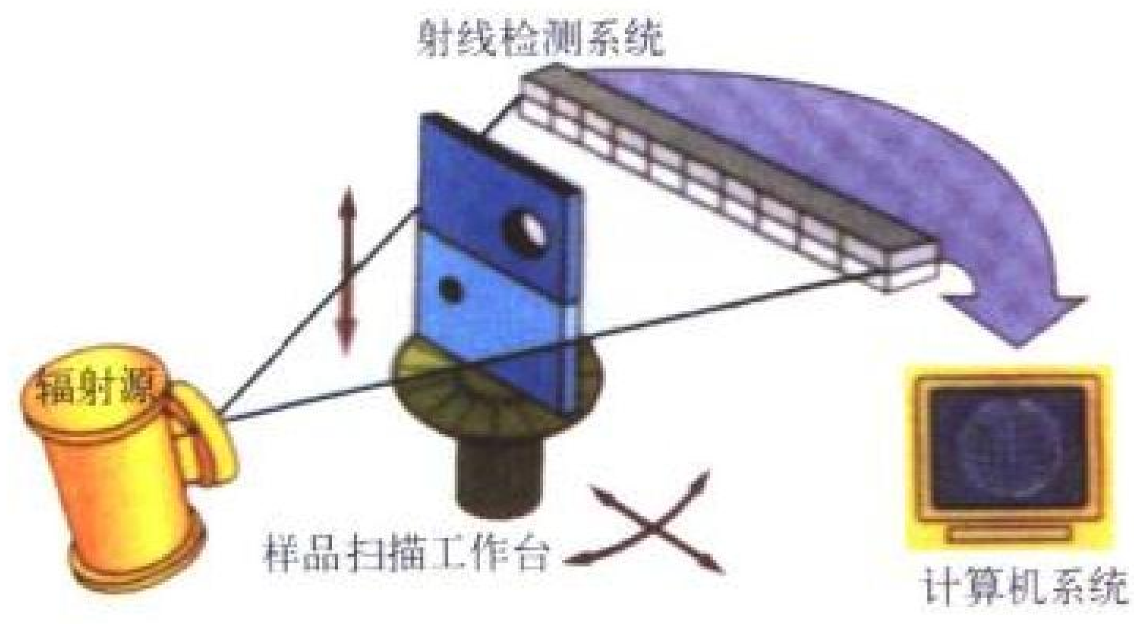
（撰写：李金才　审订：马昌文）

gongpin diancichang

工频电磁场　power frequency electromagnetic field　由50～60 Hz动力电系统等产生的电磁场，又称功频电磁场。动力电系统涉及到人们生产、生活的各个领域，如对居室中家用电器的供电、工厂中机器运转的动力供应、电力机车的动力来源、电力的输送和电压变换等，都会产生工频电磁场。近些年由于采用500 kV的高压输电，工频电磁场问题更加突出。在高压输电线附近感应电场可高达数kV/m，可对人畜产生电击作用。过强的工频磁场也会对人畜产生有害影响。此外，功率电力系统放电打火，也会产生高频电磁场，这些高频电磁场会对更大范围内的电器设备产生干扰。（撰写：赵亚民　审订：高攸纲）

gongye CT

工业CT　industrial computerized tomography (ICT)　利用辐射源得到的射线投影数据，通过电子计算机按一定算法重建样品断层图像的成像装置。断层图像是根据样品各部位对射线吸收系数的不同而获得的，反映出材料各断层对射线平均吸收系数的分布。工业CT与医用CT类似，主要由辐射源、样品扫描工作台、射线检测系统和计算机系统组成（见图）。较之一般工业照相探伤技术，工业CT的图像与射线束方向平行，为断面方向上薄层图像，是一种非重叠图像，不受关注区以外物体的干扰，可以定量测量物体内部缺陷的大小、空间位



工业CT原理图

置及与吸收系数相关的物理性质。还可测量零件内部尺寸，实现复杂零件的无图纸测绘及复制，因而是一种综合性能最优的无损检测手段。目前工业CT在航空、航天、军工、核能、汽车、冶金、石油、电子、化工、文物以及新材料研究等领域有广泛应用。其缺点是造价高，检测时间长。

（撰写：张朝宗　审订：吕延晓）

gongye fangshexing shizong zhenduan

工业放射性示踪诊断　industrial radioactive tracer diagnostics　用放射性示踪剂对工业系统的运行状态、性能参数或故障隐患等进行评价判断的一种测试手段。将放射性示踪剂作为信息源介入某一系统，根据示踪剂随系统物质流共同经历行为所获取的过程信息，可对系统的装置和工艺进行性能评价，从而判断系统运行中存在的故障（甚至隐患）。系统性

能评价包括：驻留时间分布研究，混合效率分析、物料平衡、流量测量，粒度分布研究，腐蚀、磨蚀等表面现象研究，动力学研究以及系统模型和过程模型的完善等。故障判断可看作是性能评价的一个特例，即判断"是一否"型问题，如泄漏、堵塞、机械损坏等。放射性示踪工业诊断的突出优点是精确、灵敏和基本不影响生产。目前，几乎所有工业领域都在不同程度地使用放射性示踪诊断技术，主要领域是：石油工业、石化工业、普通化学工业、热电工业、水泥工业和环境工程。（撰写：张培信　审订：吕延晓）

gongye huobao

工业货包　industrial package　装有低比活度物质或表面污染物体的包装、罐或货物集装箱。对一个单一货包物体或物体群中的低比活度物质或表面污染物体的量必须加以限制，使得在离无屏蔽物质、物体或物体群 3 m 远处的外部辐射水平不超过 10 m Sv/h。对一个单一货包中的放射性活度亦必须加以限制，对规定的某一运输工具，货包的放射性活度限值不得超过表中所规定的值。非易燃性固态Ⅱ类或Ⅲ类低比活度物质的一个单一货包，若空运的话，其所含的放射性活度不得大于 300 A_2（参见放射性核素基本值 A_1 和 A_2）。

在工业货包或无包装的低比活度物质和表面污染物体的放射性活度限值

物质性质	对除内陆水路外的运输工具的放射性活度限值	内陆船舶底舱或货舱中的放射性活度限值
Ⅰ类低比活度物质	无限值	无限值
Ⅱ类和Ⅲ类低比活度物质的非可燃性固体	无限值	100 A_2
Ⅱ类和Ⅲ类低比活度物质的可燃性固体、液体和气体	100 A_2	10 A_2
表面污染物体	100 A_2	10 A_2

（撰写：董柳灿　审订：赵亚民）

gongzuo shuiping

工作水平　working level (WL)　国际放射防护委员会在其一些出版物中沿用的一种表示氡（^{222}Rn）子体或氙（^{220}Rn）子体 α 潜能浓度的非国际单位制单位。在空气中氡或氙的各种短寿命子体的任何混合物的α潜能浓度是单位体积空气中存在的全部子体原子的 α 潜能的总和。1 WL 等于每升空气中发射出的α粒子能量为 1.3×10^5 MeV。在国际单位制中 1WL 相当于 2.08×10^{-5}J/m³。当空气中短寿命的氡或氙子体与氡或氙处于放射性平衡时，1WL 相对应的氡或氙的放射性浓度分别为 3700 Bq·m^{-3} 和 275 Bq·m^{-3}。工作人员（如矿工）的 ^{222}Rn 或 ^{220}Rn 的短寿命子体的 α 潜能照射量是该工作人员在一定的暴露时间内子体混合物 α 潜能浓度的时间积分，用工作水平月（working level month，WLM）表示。1 WLM 相当于在 1 WL 下照射一个月（每年 2000 工作小时除以 12 个月，约等于 170 h）

$$1\text{WLM}=170\text{WL}\cdot\text{h} = 3.5 \times 10^{-3}\text{J}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$$

（撰写：董柳灿　审订：陈竹舟）

gongzhong goutong

公众沟通　public communication　核应急准备中的公众沟通的主要内容一般包括：(1) 国家核能发展的方针政策；(2) 国家核应急的组织体系；(3) 核能的基本知识；(4) 核能的安全保障；(5) 电离辐射的性质及其对人体安全与健康的影响；(6) 核事故的预防与缓解措施；(7) 应急计划区与应急防护措施。

（撰写：曲静原　审订：施仲齐）

gongzhong zhaoshe

公众照射　public exposure　公众成员受到除职业、医疗和正常天然源照射之外的照射，包括批准的辐射源、实践以及干预时受到的照射。公众照射的水平是公众受到辐射影响的一种度量。为了有效保护公众健康，对伴有辐射的实践实行审批制度，并对每个辐射源项对公众的照射通过剂量约束加以限制。公众照射的剂量限值，适用于伴有辐射的实践。在实施干预时，公众所受的剂量不应包括在针对实践而规定的公众剂量限值之内。例如，室内氡引起的照射，业已存在于环境中的天然或人工放射性物质以及其他天然辐射，它们虽然是公众不可避免要受到的照射，但公众照射剂量限值则不包含它们的贡献。

（撰写：赵亚民　宣义仁　审订：潘自强　杨华庭）

G

gonglü fenbu kongzhi

功率分布控制　power distribution control　通过移动控制棒或者辅以改变可溶硼浓度，使反应堆堆芯功率分布保持在运行限值范围内。棒控反应堆一般设置安全棒、补偿棒和调节棒等较多的控制棒，反应堆运行过程中反应性的补偿是依靠移动补偿棒。对这类反应堆，控制棒是影响堆芯功率分布的主要因素。功率分布的控制要求制定一个对堆芯功率分布扰动较少的最佳控制棒提升程序，使堆芯功率分布尽可能平坦。核电厂压水堆通常采用化学补偿控制，在反应堆运行过程中，只有调节棒处于少许插入堆芯状态，不会对堆芯径向功率分布产生大的扰动。而轴向功率分布可通过操纵员移动控制棒或改变堆芯硼浓度加以控制。核电厂反应堆上一般设置 4 对堆外探测器，取出探测器上、下半段的信号差（称为轴向功率差 ΔI），并显示在控制屏上。由轴向功率分布的限制，可以确定出 ΔI 的运行带，操纵员应通过移动控制棒等操作使 ΔI 不超出这个运行带。（撰写：章宗耀　审订：卜永熙）

gonglüpu midu hanshu

功率谱密度函数　power spectral density function　振动能量对应于频率的分布曲线。对于地震情况，功率谱密度函数可以反映地震波在各个频率成分上的振动能量（及振幅）的大小，它是直接提供地震激励有关信息的一种有用形式，常用于核电厂设备的抗震分析和抗震（试验）鉴定。在根据给定的设计响应谱制作人工时程曲线时，功率谱密度函数经常被用来作为检验人工时程曲线是否合理的一种判据（参见时间历程）。（撰写：黄经绍　审订：张忠岳）

gongneng geli

功能隔离　function isolation　为避免系统多重部分之间不利的相互作用而采取的措施。这种相互作用是由正常或异常的运行，或系统中任一部件的故障所引起的。它可能是由电磁感应、静电干扰、短路、开路、接地障碍等事件所产生。防止这些相互作用的设计可包括功能隔离放大器、光电隔离器、电缆屏蔽、内部机械结构等设备。

（撰写：俞尔俊　审订：董柏年）

gongchendian

共沉淀 coprecipitation 化合物未达到溶度积，而由于体系中其他难溶化合物的沉淀使该化合物同时沉淀的现象。共沉淀分离法就是利用一种（载体）沉淀从溶液中析出时，将共存于溶液中的某些微量组分一起沉淀下来的方法。此法在放射化学中常用来分离放射性元素和制备测量源。共沉淀是一个复杂过程，按其机理可以有形成混晶、表面吸附、生成化合物、包藏（inclusion）、吸藏（occlusion）等过程。但常见的是同晶共沉淀（参见同晶共沉淀）、（表面）吸附共沉淀（参见吸附共沉淀）和生成化合物。 （撰写：罗文宗 审订：崔安智）

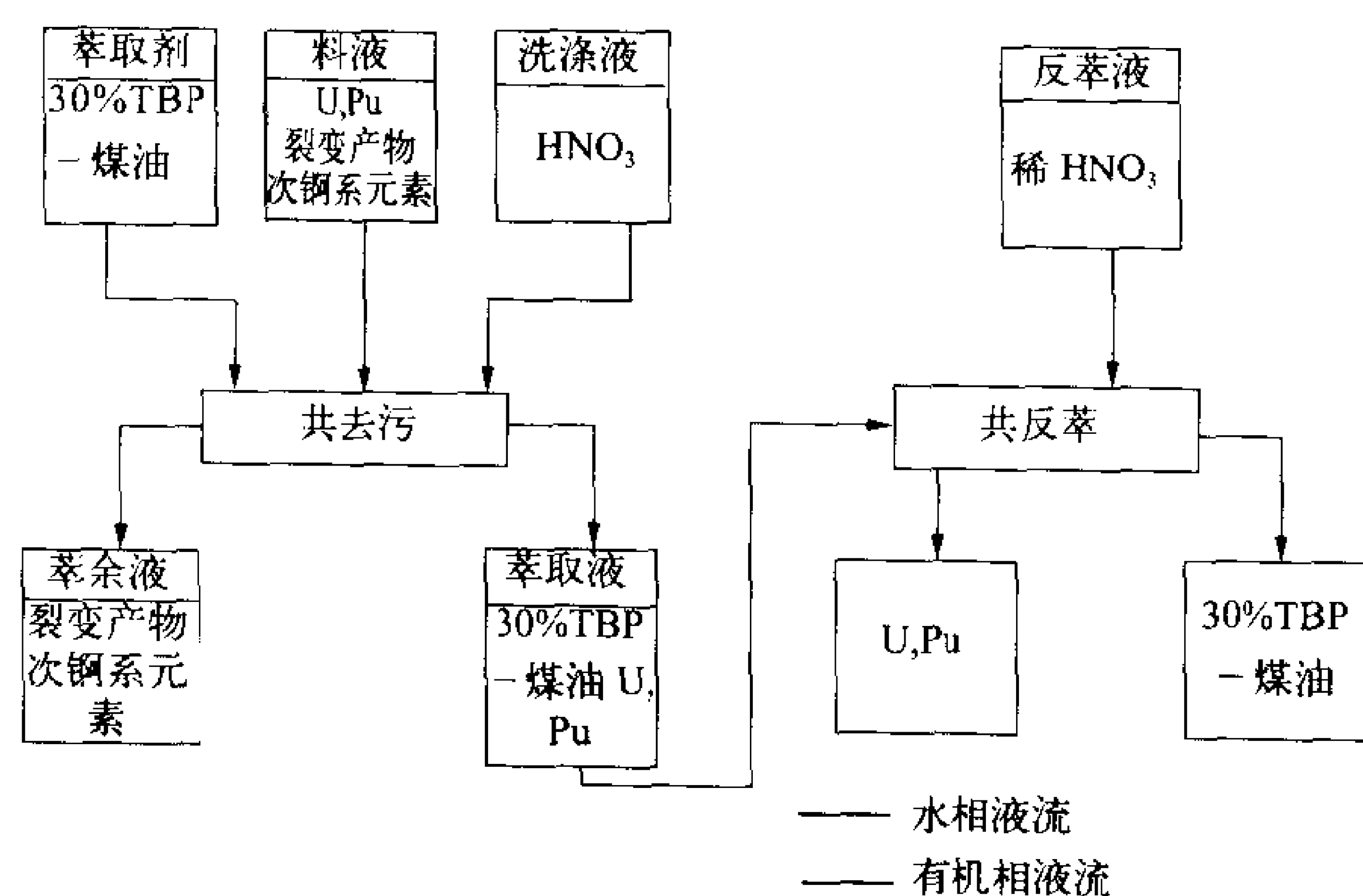
gongchuli

共处理 coprocessing 在核燃料后处理过程中，不进行铀、钚完全分离，而将两者按一定比例一起提取净化的处理方法。在第一循环首先将铀、钚萃取到有机相中，而后进行铀、钚部分分离。得到两个产品物流：铀和铀钚混合物。二者分别再通过两个溶剂萃取循环进一步净化处理。铀、钚部分分离时，需要控制钚在铀钚混合物中的比例。最终产品UO_2–PuO_2混合物中的钚含量可为3%～5%（用于制造轻水堆MOX燃料）或20%～25%（用于制造快中子堆燃料）。这种流程不仅提高了后处理厂的防止核扩散的性能，同时也便于后处理厂产品与MOX燃料制造厂的衔接。与完全分离流程相比，也简化和改善了铀、钚分离过程。

（撰写：张先业 审订：朱永赡）

gongquwu xunhuan

共去污循环 co-decontamination cycle 铀、钚在其中进行萃取和反萃，只进行纯化、不实行分离的溶剂萃取法核燃料后处理循环过程。它由共萃取去污和共反萃两个步骤组成。该循环用被稀释了的磷酸三丁酯（TBP）萃取剂在共去污槽（柱）中萃取乏燃料的硝酸溶液，使铀、钚进入萃取剂而与裂变产物和次锕系元素分离，再在共反萃槽（柱）中用稀硝酸从含铀、钚的萃取剂中反萃铀和钚（见图）。这种循环用于普雷克斯流程的第一萃取循环。



共去污循环示意图

（撰写：马栩泉 审订：林漳基）

gongyin guzhang

共因故障 common cause failure 由特定的单一事件或起因导致若干装置或部件功能失效的故障。这种事件或起因可能是设计缺陷、制造缺陷、运行或维修差错、自然事件、人为事件、信号饱和、环境条件的变化或核设施内任何其他运行或故障所引起的意外的级联效应。共因故障对于执行同一安全功能的多重部件的影响尤为严重，将导致这个安全功能失效。为了减轻共因故障效应，必须尽可能在设计中采取相应措施，如采用部件的多样性（参见多样性）及实体分隔（参见实体分隔）等。

（撰写：俞尔俊 审订：陈叔平）

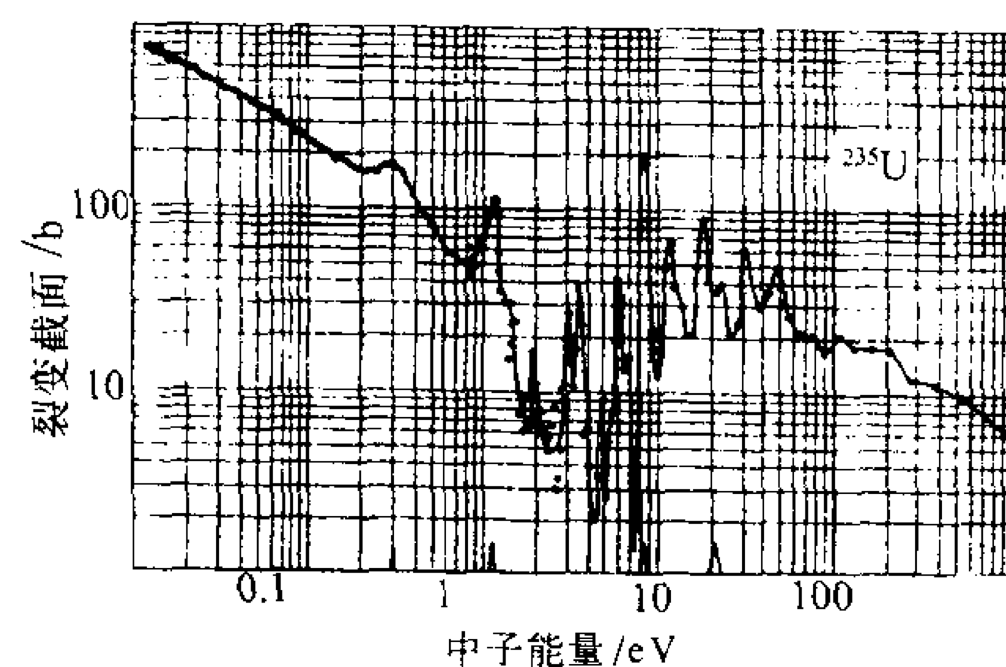
gongzhen canshu

共振参数 resonance parameter 描述核共振反应截面的一组参数，也是描述原子核能级特征的参数，例如能级位置（E_r），总宽度（Γ）和不同反应道的分宽度，如发射中子的中子宽度（Γ_n）、辐射俘获宽度（Γ_γ）、裂变宽度（Γ_f）、角动量（J）等。为精确地描述共振截面，特别是裂变元素的共振截面，发展了多种实用的多能级公式。利用理论公式对截面的实验数据进行分析拟合，求得的共振参数不受测量条件如温度和仪器分辨率等因素的影响。因此，在原子核反应研究和核工程设计中不直接使用截面的实验数据，而是用共振参数。

（撰写：赵文荣 审订：丁大钊）

gongzhen nengji

共振能级 resonance level 通过核反应激发的原子核的一种能级。通常以核反应截面与能量的关系曲线上出现窄共振峰为特征。这种反应称共振反应，共振反应对大部分原子核来说普遍存在。原子核的能级是亚稳状态，具有一定的寿命，按测不准关系，相应地有一定的宽度，与寿命成反比。当能级宽度合适，例如，宽度远小于能级间距时，核反应截面就出现共振。如图所示为^{235}U的中子裂变截面曲线，在1～100 eV能区出现共振峰。



^{235}U的中子裂变截面曲线

（撰写：赵文荣 审订：丁大钊）

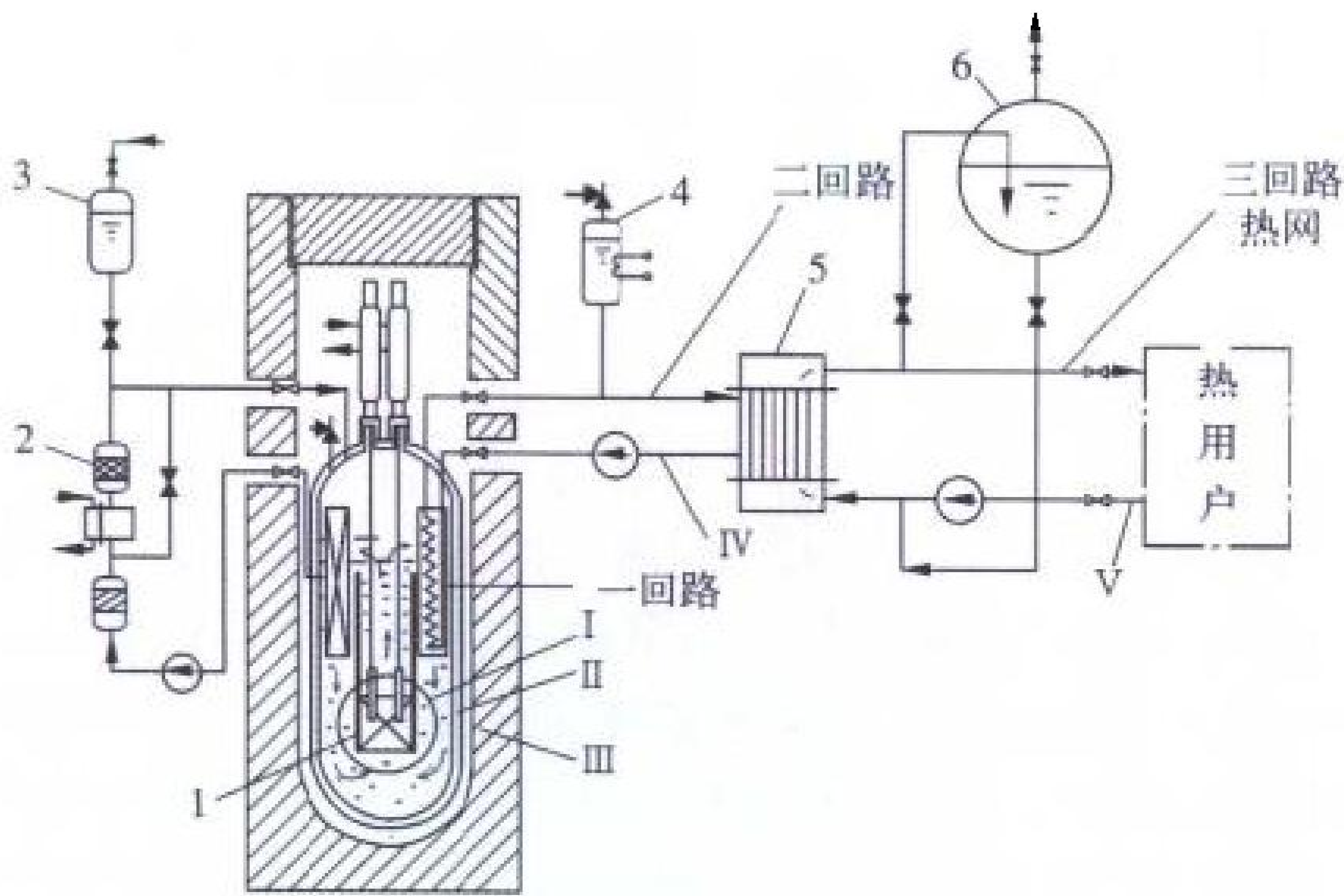
gongzhen zhongzi

共振中子 resonance neutron 动能在中子核反应截面出现共振的能量范围内的中子。这个能量范围变化较大，通常在1 eV～1 keV之间。不同核素的中子共振截面曲线的特征不相同，各种核的共振区能量范围有差异，重核的共振能区比中等重量核更向低能量方向移动。中子的共振反应研究是核物理与核结构的重要组成部分，并为核工程应用提供了大量的数据。 （撰写：李景文 审订：丁大钊）

gongre fanyingdui

供热反应堆 nuclear heating reactor 专用于产生热能向城市建筑物供暖或向工业企业供给热水和蒸汽的核反应堆。供

热反应堆多为轻水堆，压力和温度较低、规模较小，但要求安全性更高。采用核能供热，可以减少烟尘、硫化物及 CO_2 等有害物质的排放，减少煤、油等燃料运输量，从而改善能源结构。已有的供热反应堆可以大致分为两类，一类是壳式供热堆，另一类是池式供热堆。一体化壳式供热堆（见图）具有如下特点：全功率自然循环、双层承压壳、低温、低压、低功率密度、设置中间隔离回路、控制棒采用水力驱动。这些特点保证了供热反应堆的高度安全性和可靠性。池式供热堆是一种浸没在水池中的水冷堆，它的特点是处于大气压力下，结构简单，安全性好，为了防止出现沸腾，供热温度一般不超过 80℃，功率也相对较小。



清华大学 5 MW 供热反应堆流程示意图

I—释热区；II—压力容器；III—屏蔽层；IV—二回路；V—三回路（热网）1—堆芯；2——回路冷却剂净化系统；3—硼酸水注入系统；4—二回路容积补偿器；5— 热网热交换器；6— 事故冷却器

（撰写：马昌文　审订：李金才）

goudao xiaoying

沟道效应　channeling effect　经准直的带电粒子束入射到单晶的晶体中发生异常穿透作用的一种物理现象。沟道效应与带电粒子入射至单晶的角度有关。如果入射粒子的方向与晶轴（或晶面）的角度一致，则粒子与位于晶体结构点阵的原子相继发生几百次到上千次的小角度库仑散射，在晶轴（或晶面）之间的空间内振荡穿行而不被阻挡。沟道效应使入射粒子的射程加大，沟道作用的阻止本领大约只有随机轨迹的一半。利用离子束的沟道效应可获得诸如晶体的缺陷、晶格损伤、深度分布和杂质原子的定位等各种信息，目前已成为离子束分析技术的重要组成部分。

（撰写：张士琛　审订：吕延晓）

gusuan de fujia youziyuan II lei

估算的附加铀资源 –II 类　estimated additional uranium resources-category II　该类附加铀资源产于有已知矿床的矿化区或已知矿床的地质走向延伸区，主要是根据间接的判据估算的。这类资源的吨数、品位、发现成本的估算主要以类似产出环境的已知矿床的地质特征和可能获得的地质、地球物理或地球化学判据为基础。该类铀资源估算的可信度低于估算的附加铀资源 –I 类。这类铀资源可供资源规划和中、长期开发利用。（撰写：胡绍康　审订：赵凤民）

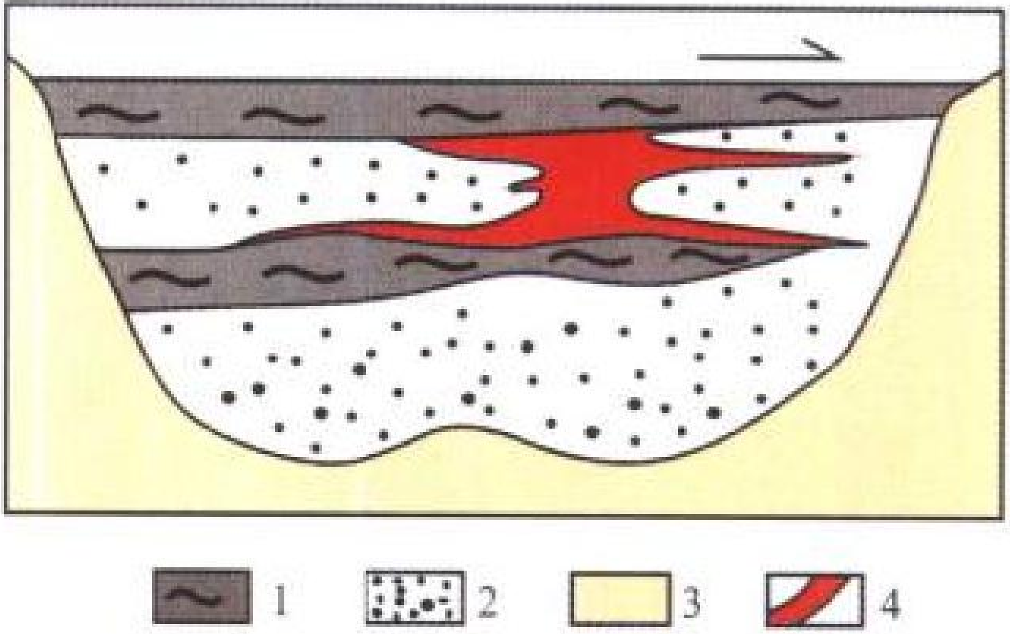
gusuan de fujia youziyuan I lei

估算的附加铀资源 –I 类　estimated additional uranium resources-category I　可靠资源以外的、主要以直接的地质判据预计可能存在于详细勘探矿床的延伸部分中的铀资源，或存在于已确定了地质连续性的矿床中的铀资源，但因具体的数据不足和对矿床地质特征的了解尚不充分，还不能把该类资源列入可靠铀资源类。矿体的圈定和回收的吨数、品位和成本的估算以尽可能的取样和对该矿床特点的认识为基础。该类资源估算量的可信度比可靠铀资源类的要低。这类铀资源可与可靠铀资源一起供矿山开发规划中使用。

（撰写：胡绍康　审订：赵凤民）

guheguxing shayan youkuangchuang

古河谷型砂岩铀矿床　paleovalley(paleochannel) type sandstone uranium deposit　又称其为古河道型砂岩铀矿床。空间上严格定位于某一地质时期的古河道范围内的砂岩铀矿床（见图）。其矿体定位于河道相粗碎屑岩中，平面上形态呈带状，与古河道大致平行，剖面上呈似层状、透镜状或复杂的卷状。此类矿床大部分为现代或古代潜水氧化成因，部分叠加层间氧化。铀矿石的品位一般为 0.0*n*%～0.2%，主要铀矿物为沥青铀矿，有时有铀石。单个古河道型砂岩铀矿床的规模一般为几千至一两万吨，由若干矿床组成的矿田的铀资源量可达几万吨至一二十万吨。大部分古河谷型砂岩铀矿床可以用地浸法开采。



1　2　3　4

古河谷型砂岩铀矿床示意图

1—粘土；2—砂岩；3—上古生界；4—铀矿体

（撰写：陈祖伊　审订：赵凤民）

guyouchang

古铀场　paleobackground of uranium　原岩铀量展布场，系采用 U–Pb 同位素演化系列推导出的计算古铀场的公式得出。古铀场的提出和计算把产铀岩体的判定及铀源、铀活化等研究推向定量化阶段。古铀量计算公式如下：

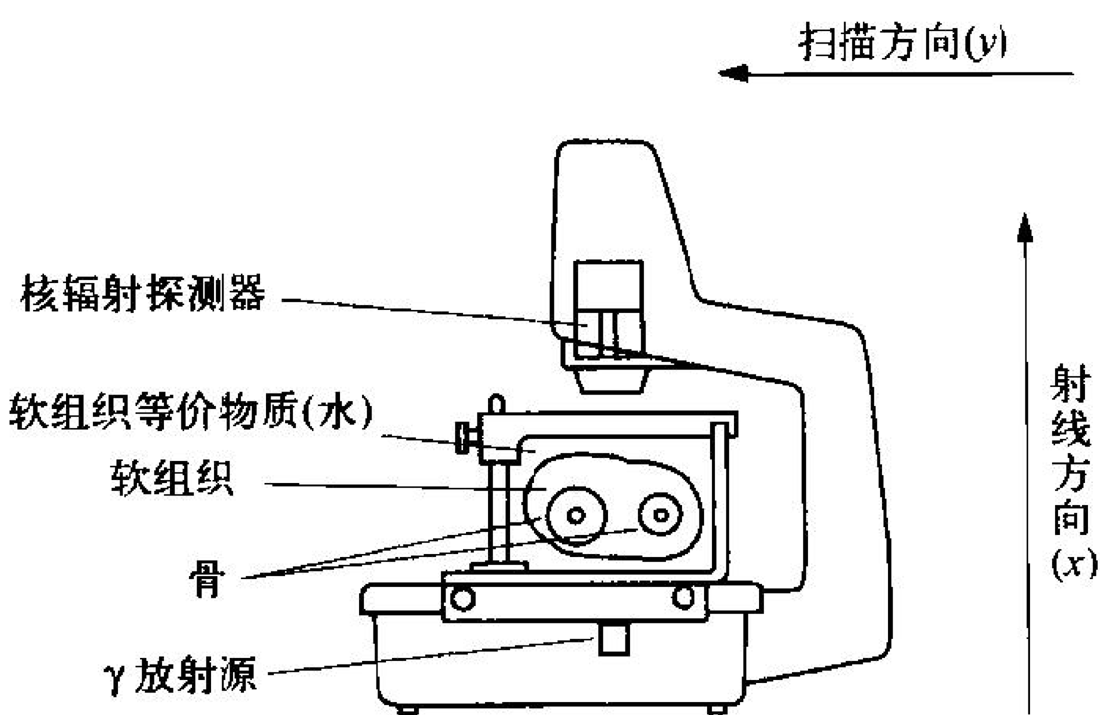
$$[U_0]=\frac{\left\{[Pb]-[U]\times 0.993(e^{\lambda t_2}-1)\dfrac{M_{206_{Pb}}}{M_{238_U}}\right\}e^{\lambda(t_1-t_2)}}{e^{\lambda(t_1-t_2)}-1}\frac{M_{238_U}}{0.992M_{206_{Pb}}}$$

式中 t_1 为岩体（或地质体）成岩年龄值；t_2 为岩体成矿年龄值（或活化年龄值）；M 为相对原子质量；λ 为衰变常数；[U] 为现测铀量；$[U_0]$ 为古铀量；0.993 为铀同位素 ^{238}U 的现代丰度；0.992 为 ^{238}U 成岩时古丰度（成岩年龄小于 1000 Ma）。以牧护关岩体为例，现测铀含量仅为（3～4）× 10^{-6}，为现代低场，但是经过古铀场研究表明，该岩体古铀量值较高（$[U_0]$ = 9.52 × 10^{-6}），而且铀差量值（$\Delta[U]$ = –4.895 × 10^{-6}）和铀迁移率也高（η = 51.4 %），现代低场是岩体铀活化迁移的结果，因此判定该岩体仍具备成矿能力。

（撰写：胡绍康　审订：赵凤民）

gumidu celiangyi

骨密度测量仪 bone mineral meter 根据骨骼对射线的吸收程度诊断骨骼中矿物含量的仪器。骨密度测量仪主要由放射源、γ射线探测器和其他附属设备组成（见图）。其中放射源与探测器两者通常保持联动状态，沿被测对象（骨）以一定速度实现左右扫描。测出的吸收曲线反映出骨骼断面矿物总含量（BMC），经电子计算机分析处理自动打印诊断数据。常用的单光子吸收骨密度测量仪多用于手臂骨骼检查，一般采用的放射源为^{241}Am（主要为60 keV的γ射线）或^{125}I（主要为35 keV的γ射线）。另一种双光子吸收测量仪则是利用^{153}Gd放射源，其能量各异的两种γ射线（44 keV，100 keV）有助于根据不同物质在吸收上的差别消除干扰因素，为临床诊断提供更为可靠的信息。目前，这两种骨密度测量仪都受到采用X射线的DEXA测量法的挑战。

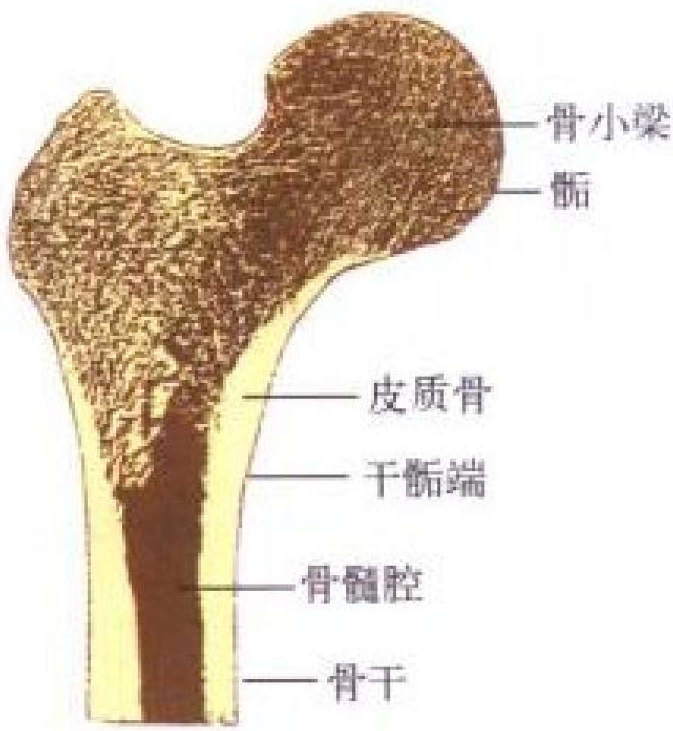


骨密度测量仪示意图

（撰写：吕延晓 审订：张培信）

gu moxing

骨模型 bone model 国际放射防护委员会(ICRP)从剂量学角度设计的骨组织解剖学和组织学模型，以供内照射剂量估算之用。根据该模型，对于除γ发射体之外的所有放射性核素，源器官（组织）是皮质骨(CB)和骨小梁(TB)，其质量分别为4000 g和1000 g；靶器官（组织）是邻近骨表面细胞(BS）和活性红骨髓(RM)，其质量分别为120 g(主要指总面积为12 m^{2}而厚度为10 μm的骨内膜质量，骨外膜面积很小，可忽略不计）和1500 g（见图）。为了计算源器官（组织）中放射性核素对靶器官（组织）产生的剂量，该模型将放射性核素及其辐射分为六类：所有放射性核素发出的光子；在骨体中均匀分布的α辐射体；骨表面的α辐射体；在骨体中均匀分布的β辐射体；骨表面的β辐射体，其平均能量$\bar{E}_\beta \geq 0.2$ MeV；骨表面的β辐射体，其$\bar{E}_\beta < 0.2$ MeV。该模型推荐了两个粗略的判断标准，以判断某一种放射性核素是假定分布在整个骨体中还是分布在骨表面上。随着动物实验研究和有关人资料不断积累，ICRP在有关的出版物中给出了碱土元素和铅的年龄别生物动力学模型及钚、镅、镎的年龄别生物动力学模型，以更准确地计算放射性核素产生的骨剂量。（撰写：周永增 审订：李素云）



成年人股骨上端部分

gudan

钴弹 cobalt bomb 见感生放射性弹。

gudingchuang lizi jiaohuan

固定床离子交换 fixed bed ion exchange 树脂以密实状态在一个塔内进行吸附、解吸及水洗，在反冲洗时树脂呈流化状的过程。塔的底部有树脂的承托物兼作布液器，树脂层上面有上布液器。铀水冶生产中一般2～3塔串联吸附，以保证末塔穿透前首塔达到饱和，前一饱和塔已再生。饱和的首塔从吸附系统中分出，以单塔进行反冲洗、解吸、洗涤。解吸时必须采用分部解吸法。吸附系统需将原先第二塔作为首塔进行吸附直至末塔穿透，再将处理好的贫树脂塔接入系统作末塔进行吸附，循环操作。（撰写：许根福 审订：关自斌）

guding wuran

固定污染 fixed contamination 非固定污染之外的放射性污染。固定污染可分为弱固定污染和强固定污染。弱固定污染是污染核素以分子或离子形式通过物理吸附或化学附着、离子交换作用结合于物体表面而形成的，故较难去除。强固定污染是污染核素通过扩散或其他过程渗入基体材料内而生成的，很难去除。固定污染通常要采用高效去污方法来清除，如深度化学去污、喷丸和电化学去污等。检修和退役过程中拆除或解体产生的物料去污，常会遇到固定污染的去除问题。

（撰写：王显德 审订：孙东辉）

guhuachanpin texing jianding feiwuti texing jianding

固化产品特性鉴定（废物体特性鉴定） solidification product characterization (waste form characterization) 对废物体组成及其机械、物理、化学、生物和抗辐照等性能的检测和鉴定。放射性废物处置目的是防止放射性废物中核素以有危害量进入人类生活环境，而废物固化体是第一道人工屏障，因此固化体的长期稳定性是人们关注的重要问题。特性鉴定主要是检测和评价固化体的化学稳定性、热稳定性、机械稳定性和辐照稳定性等，这对废物体包装容器选择、整备和运输方案的确定,贮存库和处置场的设计，对废物体能否被处置场接受，对处置的安全分析和环境影响等都有十分重要意义。

（撰写：汤宝龙 审订：罗上庚）

guhuaji

固化剂 solidification agent 使液态或类液态放射性废物转变为固体的掺加物质，如水泥、沥青、玻璃熟料等。固化方法通常以所用的固化剂命名，如水泥固化、沥青固化、玻璃固化等。不同固化剂的固化工艺、固化产品性能以及减容比等各不相同。用水泥作固化剂，其固化工艺最简单，可在常温下进行，但通常固化后增加体积，固化产品抗浸出性较差。用硼硅酸盐玻璃熟料作固化剂，其固化工艺较复杂，需在1100℃高温下完成，然而它的固化产品性能优良，且减容比大。通常，水泥、沥青用于固化中低放废物，硼硅酸盐玻璃熟料用于固化高放废液。（撰写：汤宝龙 审订：罗上庚）

gutihe jingji

固体核径迹 nuclear tracks in solids 具有动能的重带电粒子通过绝缘固体时留下的踪迹。重带电粒子与固体原子作用沿其经过的路径产生辐射损伤，通常直径为纳米量级，称为潜径迹。借助特定的蚀刻剂，可选择性地快速溶解辐射损伤

物质，扩大潜径迹直径达微米级。这种经扩大的径迹更易使用光学显微镜观察和测量。径迹的数目、方向和形状参数可以反映重带电粒子的数目、飞行方向、能量，甚至鉴别粒子种类，因此固体核径迹常用作记录重带电粒子的手段。这种方法的优点是体积小，辐照和应用方便，径迹可永久保存和反复测量。用作固体径迹探测器的绝缘固体可分为晶体、玻璃和塑料三类，它们对粒子的记录特性不同。如塑料CR-39，可记录质子等较轻粒子;而无机晶体如白云母和玻璃等只能记录质量数大于20的重离子。固体径迹技术可在强γ场中记录重带电粒子和中子，有利于反应堆堆芯中和核爆环境下的中子测量。作为α粒子探测器记录氡，固体核径迹还常用于铀矿资源的普查和环境氡的监测。此外天然存在的铀在某些矿物中留下的自发裂变径迹，是地质年代的一种特殊记录方式，已成为确定地质年代的依据。 （撰写：郭士伦 审订：吕延晓）

guti jingji tanceqi

固体径迹探测器 solid state track detector 利用辐射损伤效应记录重带电粒子径迹的探测器。当重带电粒子通过探测器，在它的路径上，探测器材料会产生直径3～5 nm的辐射损伤，这种带有潜伏径迹的探测器用蚀刻剂蚀刻处理后，其辐射损伤密度超过阈值的潜伏径迹的孔间直径可达μm量级，便可用光学显微镜观察和测量，可测定重带电粒子的数目、飞行方向、原子序数、质量和能量。固体径迹的材料可分为晶体、玻璃和塑料三类，各种材料的记录特性不同，塑料有较高的灵敏度，可记录较轻粒子；白云母和玻璃的灵敏度较低，只能记录较重粒子。固体径迹探测器对β和γ射线都不灵敏，能在强γ场中有选择地记录重带电粒子；通过中子引起的核反应可以记录中子。由于它的记录过程不需要电源，在常温下辐射损伤径迹可长期保留而不消失，是核事件的永久记录器。固体径迹探测器适于在特殊核环境（即强本底辐射场）中进行核数据和核事件测量，如测量核爆炸中辐射的强度、能谱及空间分布，核爆炸燃耗，野外布点普查铀矿资源，显示核燃料元件破损等。此外，在核物理、核辐射剂量防护、天体物理及生物医学等方面也得到较广泛的应用。

（撰写：郭士伦 审订：孙汉城）

guyou anquan

固有安全 inherent safety 核反应堆在运行参数偏离正常时能依靠自然物理规律趋向安全状态的性能。如核反应堆的慢化剂温度系数和燃料多普勒系数为负值时，功率增加使慢化剂和燃料芯块温度升高而会引入负反应性，使反应堆功率下降；当燃料元件冷却不足时，冷却剂会通过自然对流及自然循环载带出热量。在设计中考虑核反应堆发生假设始发事件时，可以靠下列三种响应来保证安全：(1) 固有安全；(2) 非能动安全；(3) 投入能动安全设备。其中固有安全是保证安全首选的重要方法，在设计中合适地引入固有安全概念，能改进核反应堆的安全性，降低建造成本。

（撰写：俞尔俊 审订：陈叔平）

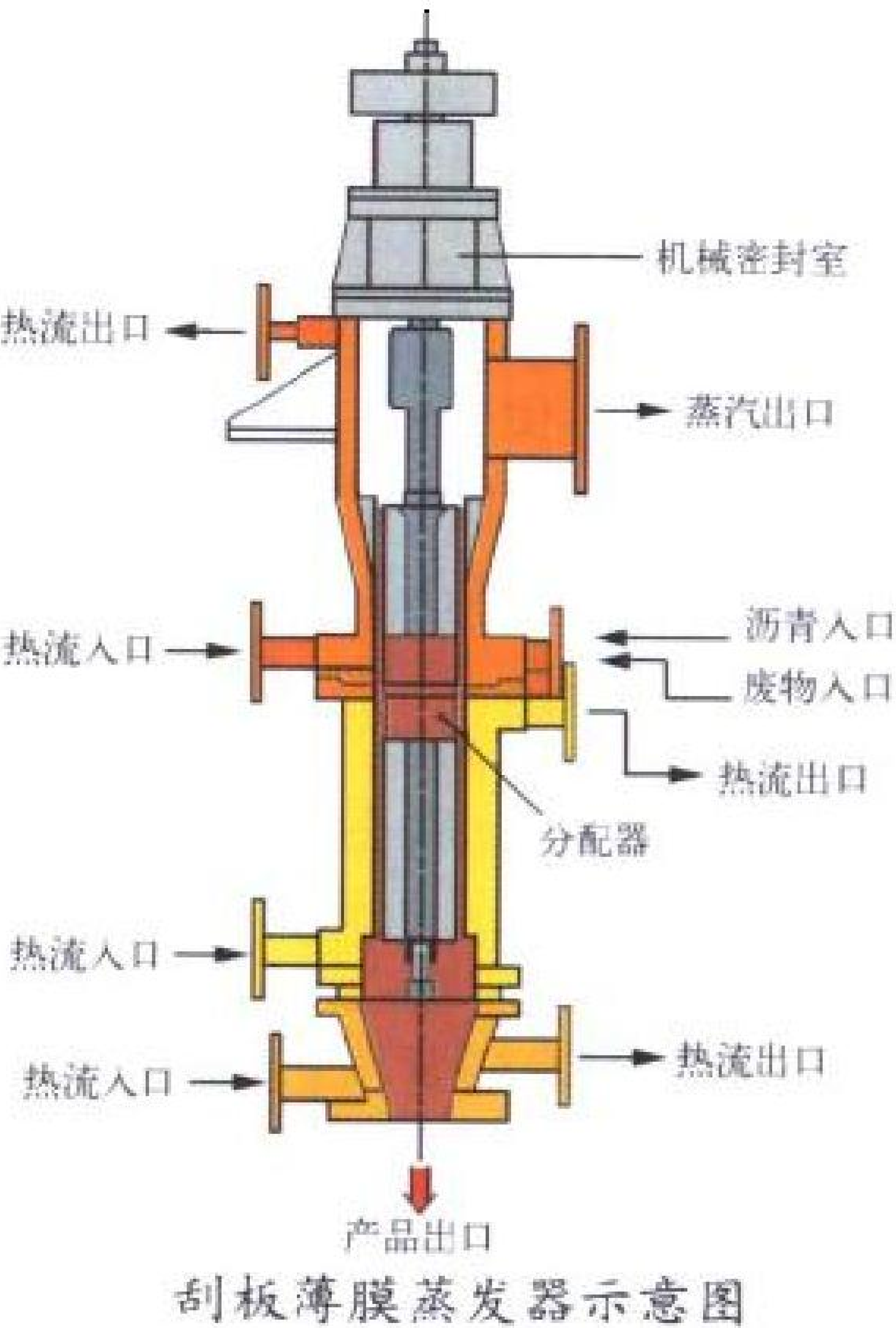
guzhang anquan yuanze

故障安全原则 fail-safe principle 系统或部件发生故障时核设施能在无须任何触发动作的条件下进入有利于安全的状态的设计原则。在设计核设施的安全重要系统和部件时应尽可能贯彻这个原则。例如控制棒驱动机构在断电时应能使控制棒落入堆芯，使反应堆停闭。此原则在核电厂设计中应用较为普遍，特别是安全系统中的动力操作阀门，应在失去动力源时进入对安全有利的开启或关闭状态。采用该原则可简化系统和设备，且在满足单一故障准则条件下仍能完成同样的安全功能。例如，动力阀门设计如不能满足故障安全原则，则对于故障时要求关闭的阀门必须采用两个阀门串联，故障时要求开启的阀门必须两个阀门并联。

（撰写：俞尔俊 审订：陈叔平）

guaban baomo zhengfaqi

刮板薄膜蒸发器 scrapper thin film evaporator 用刮板起混合作用的膜式蒸发器（见图）。在沥青固化工艺中常用作混合、蒸发设备。它由电机带动刮板紧靠着圆筒形传热内表面转动，放射性废液或废树脂和沥青经分配盘分布在传热筒的表面，由旋转刮板的离心力将沥青和废液或废树脂的混合物在筒壁上展开成一层薄膜，并且液膜被不停地搅动，在液膜下降过程中其所含的水分不断地被加热和蒸发，盐分逐步结晶或废树脂逐步干燥，并被沥青均匀地包容，最后注入到容器中，冷却后即成为沥青固化体。与螺杆挤压机比较，刮板薄膜蒸发器沥青固化的优点是设备比较简单，但加热温度比较高，同时为保证流动性，废物的包容量不宜超过质量分数45%。



刮板薄膜蒸发器示意图

（撰写：范显华 审订：孙明生）

guanbi de sheshi

关闭的设施 closed-down facility 又称关闭的核设施。运行已经停止，核材料已被移走，但尚未退役的核设施。

（撰写：金惠民 审订：严叔衡）

guanbihou jieduan

关闭后阶段 post-closure phase 放射性废物处置设施关闭以后的时期。按放射性废物处置场运行许可证规定的条件，处置设施停止接收废物或完成处置任务之后应予关闭。关闭工作包括处置区的回填、封闭和最终覆盖，辅助设施的拆除，以及关闭后场址责任的确定和环境监测与监督计划的制定。关闭后阶段需实施对处置场的有组织的控制，它又分为主动监护期和被动监护期。监护期的持续时间和控制要求由审管部门根据该处置场关闭后阶段的安全评价结果予以确定。通常，主动监护期要求控制人员出入、防止闯入、对处置系统进行监督和维护、对环境实施监测和提出监测报告等；被动监护期要求对场址的土地使用进行控制。关闭后阶段结束后，处置场址便可无限制开放和使用。 （撰写：孙东辉 审订：王显德）

guanjian celiangdian

关键测量点 key measurement point (KMP) 核材料以可测

量的形式出现，通过测量可以确定材料流量或存量的一种部位。在关键测量点，核材料平衡区的进料量和出料量（包括测量过的废弃物量）或贮存量都可以测得。

（撰写：陈连仲　审订：李　泽）

guanjian hesu

关键核素　critical nuclide　任何给定实践中的放射性物质排入环境后，可能有多种核素构成对公众的照射，在所涉及的各种核素当中，总有一种或几种核素比其他核素更重要，而且是公众个体（关键人群组）所受剂量的主要贡献，这样一种或几种核素称为关键核素。它用于评价公众所受的辐射剂量，指导环境监测计划以及制定排放物的管理限值等。

（撰写：张永兴　审订：胡逢全）

G

guanjian renqunzu

关键人群组　critical group　对某一给定实践所涉及的受照人群当中，影响公众所受剂量的下列因素尽可能相对均匀、并能代表目前和未来公众成员个人接受最高剂量照射的人群组：(1) 居住环境、生理和代谢特征以及潜在受照群体的年龄分布；(2) 膳食（饮食）习惯，如消费特定的食物和数量；(3) 职业习惯，如商业捕鱼，挖泥及土木工程维修等；(4) 居住习惯，如在室内度过的时间；(5) 寓所的形式，如屏蔽特性或通风状况；(6) 嗜好及娱乐活动，如打猎、钓鱼、游泳和日光浴等。人群中的这些群体可以在设施的附近，也可以在相距一定距离的地方。可以由成年男人、妇女、孕妇或儿童组成；人数可以从几到几十个人；可以是食用以特定方法配制或在特定地方生产的一些人，也可以是从事某特定工作的人员。在辐射环境影响评价中，关键人群组中成员的平均剂量可以作为该实践对公众成员个人所产生的剂量上限。对公众中个人的剂量限值和剂量约束值，都是针对关键人群组的平均剂量。为使平均剂量在某个值以下，要对该实践中的辐射源和放射性排放物进行管理。为确定关键人群组，需要对所考虑的所有放射性核素的全部照射途径进行调查，调查的深度取决于所估计的剂量相对于剂量限值的份额的大小，份额在百分之几以上时，也许需要详细地调查潜在关键人群组的生活习性。关键人群组的概念是ICRP第1号出版物（1958年）首先引入的，在第7号出版物（1965年）《与操作放射性物质有关的环境监测诸原则》中采用了这一概念。

（撰写：张永兴　赵亚民　审订：胡逢全　潘自强）

guanjian zhaoshe tujing

关键照射途径　critical exposure pathway　任何核设施的放射性物质排入环境后，可能有多种途径构成对公众的照射。在所涉及的各种照射途径当中总有一种或几种照射途径比其他途径更重要，而且是公众成员个人（关键人群组）所受剂量的主要贡献，这样一种或几种照射途径称为关键照射途径。它用于评价公众所受的辐射剂量，指导环境监测计划以及制定排放物的管理限值等。

核设施排放到环境中的放射性核素，由于物理、化学和生物作用造成的空间位置发生移动。在所涉及的向人体转移的各种途径当中，总有一种或几种途径比其他途径更重要，而且是公众成员个人（关键人群组）所受剂量的主要贡献，这样一种或几种转移途径称为关键转移途径。例如，空气→牧草→牛→牛奶→人，是放射性核素 ^{131}I 向人体转移的一种关键转移途径。它用于预测和评价环境质量、公众所受的辐射剂量，指导环境监测计划，制定环境保护措施等。其具体的关键转移途径，必须在实际条件下进行广泛、细致的生态学调查，然后加上评价人员的经验和知识，通过选择与计算来确定。

（撰写：张永兴　审订：胡逢全）

guanli mubiaozhi

管理目标值　management target　在核设施的设计与运行阶段，根据辐射防护最优化原则，为了使周围公众的受照达到可合理达到的低水平而规定的辐射安全管理目标。管理目标值包括剂量目标值和排放管理目标值。剂量目标值是根据ICRP的辐射防护最优化原则，为了使因排放的放射性物质所产生的核设施周围公众照射达到可合理达到的低水平，所制定的设计和运行管理目标。其数值为一般公众剂量限值的1/4，即有效剂量 0.25 mSv/a。剂量目标值的有效剂量数值是根据惰性气体所产生的外照射、碘所产生的内照射以及经食物摄取所产生的内照射而估算的。排放管理目标值是指在设计核设施时，考虑到因设施排放对将来周围的关键居民组照射而规定的目标值。在进行核设施常规运行的放射性物质的排放管理时，以剂量目标值为基础，制定排放量或平均排放率的排放管理目标值，在运行中控制排放使其不超过目标值。剂量目标值是根据辐射防护最优化原则制定的，其数值比法定的剂量限值要低得多。

（撰写：马吉增　审订：张延生）

guanli xianzhi

管理限值　authorized limit　为辐射安全管理目的，由主管部门或企业管理者根据辐射防护最优化原则制定的限值。可针对辐射防护有关量来制定管理限值。管理限值只用于特定的场合，例如，放射性流出物排放的管理限值，该限值不一定以剂量形式给出，可以以放射性浓度（Bq/m^3）或日排放活度等形式表示。这样可方便管理。通常，管理限值严于基本限值、次级限值或导出限值。在个别情况下，也可以等于导出限值。在导出限值和管理限值并存的情况下，优先使用管理限值。对于职业照射和公众照射均可制定管理限值，后者一般用来控制关键人群组成员的剂量。

（撰写：杨华庭　审订：张延生）

guanzi moxing

“管子”模型　Tube design　在苏联探索氢弹设计原理初期，1946年6月开始在Я.Б.泽利多维奇（Я.Б. Зельдович）领导下研究的一条氢弹设计途径。这一设计思想来源于美国的“经典超级”模型。其基本思想是用一个威力很大的裂变爆炸去点燃液氘圆柱。研究工作进行到1953年12月宣布放弃。

（撰写：郑绍唐　审订：竺家亨）

guanxing jubianneng

惯性聚变能　inertial fusion energy　惯性约束聚变方式产生的热核能量。一个1000 MW堆的能源，假定热电效率为1/3，每一脉冲释放热核能量1 GJ，则要求每秒释放三次热核能脉冲，这样的堆每秒钟大约产生 1×10^{21} 个高能中子和α粒子。这些中子及等离子体云的能量在反应堆中被捕获，变为热能，用于发电。发展惯性聚变能需经历如下阶段：(1) 点火和低倍的能量增益；(2) 高增益：要求每一脉冲达到 10^9J 的能量；(3) 工程可行性：要求驱动源效率与能量增益的乘积等于大于10，微聚变频率应达到几赫兹；(4) 建成商业聚变能电站：做到安全可靠，运行稳定，环境优良，经济合算。预计10年内能完成第一阶段。

（撰写：张　钧　审订：常铁强）

guanxing yueshu jubian

惯性约束聚变 inertial confinement fusion (ICF) 依赖物质惯性进行压缩、加热，使热核燃料点火并达到充分热核反应燃烧，获得高能量增益的过程。热核反应装置需要相当高的温度和一定的密度，并维持一定的时间。通常有两种方式：磁约束和惯性约束。实现可控热核反应可采用高密度和低密度两种途径。惯性约束属于前者，反应时粒子的数密度高达 10^{26} cm^{-3}，比磁约束装置大约高 11～12 个数量级，反应维持的时间也短得多，大约几个纳秒。惯性约束聚变靶丸很小，只有毫米量级，因此是微聚变。惯性约束聚变研究的目的：一是作为未来能源；一是服务于军事应用。（撰写：常铁强　审订：朱少平）

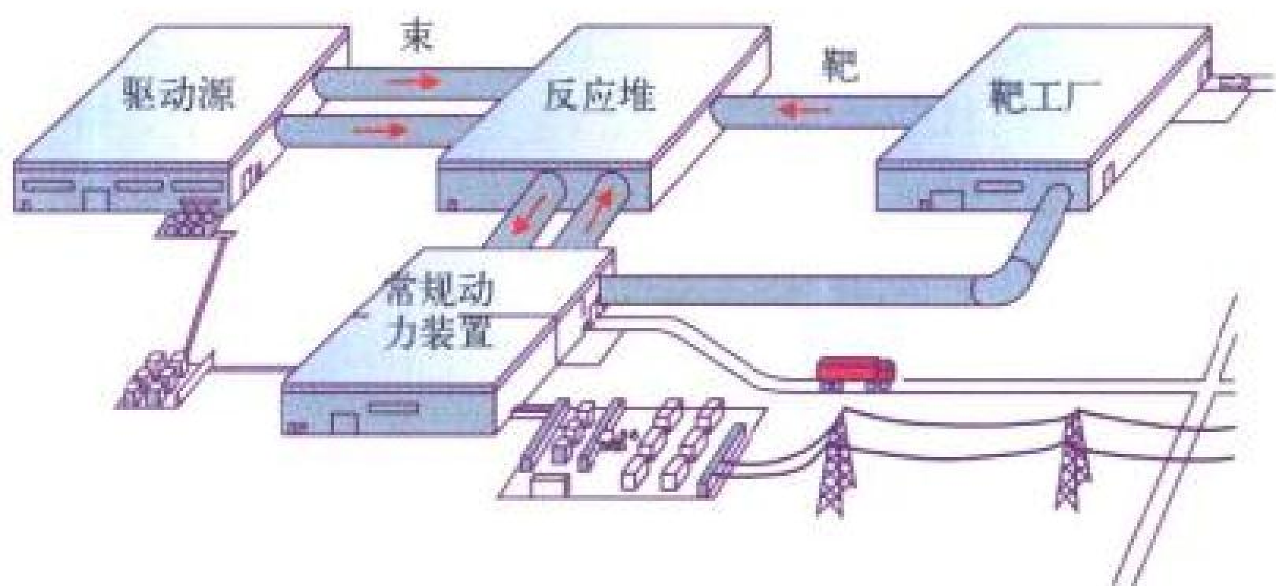
guanxing yueshu jubian de shuzhi moni

惯性约束聚变的数值模拟 numerical simulation of inertial confinement fusion 对惯性约束聚变进行计算机上的数值实验。惯性约束聚变物理很复杂；驱动器、实验、诊断仪器、制靶设备、也都需要大的投资，因此充分的数值模拟是必要的。数值模拟具有预见性，在解决关键物理问题、优化技术途径、设计优化靶型、提出对驱动器、实验、诊断、制靶要求以及预言和解释实验等方面起着重要作用。数值模拟应包括：激光在等离子体中的传播和吸收方程、流体力学方程、电离和电子布居速率方程、辐射输运和粒子输运方程、热核反应方程等。很多过程必须进行非平衡描述。模拟应是二维（某些是三维）。此外，激光等离子体不稳定性的非线性作用和饱和问题需要细致的数值模拟研究。世界上从事惯性约束聚变研究的各大实验室，对数值模拟都非常重视，并发展了自己的程序包，如美国的 LASNEX 和我国的 LARED。

（撰写：常铁强　审订：朱少平）

guanxing yueshu jubianneng dianchang

惯性约束聚变能电厂 inertial confinement fusion power plant 以惯性约束聚变方式提供电力的发电厂。它由 4 个主要系统组成（见图）：(1) 驱动源，激光或粒子束；(2) 靶工厂，制造靶，填充氘氚燃料，并输送到反应堆中；(3) 反应堆（核岛），将靶连续地射入反应室，实现热核燃烧，热核反应产生的能量被周围流动的包壳捕获，并将它转换为热能；(4) 常规动力装置（常规岛），在这里将热能转换为电能，并将中子与锂 -6 制造的氚循环到靶工场。

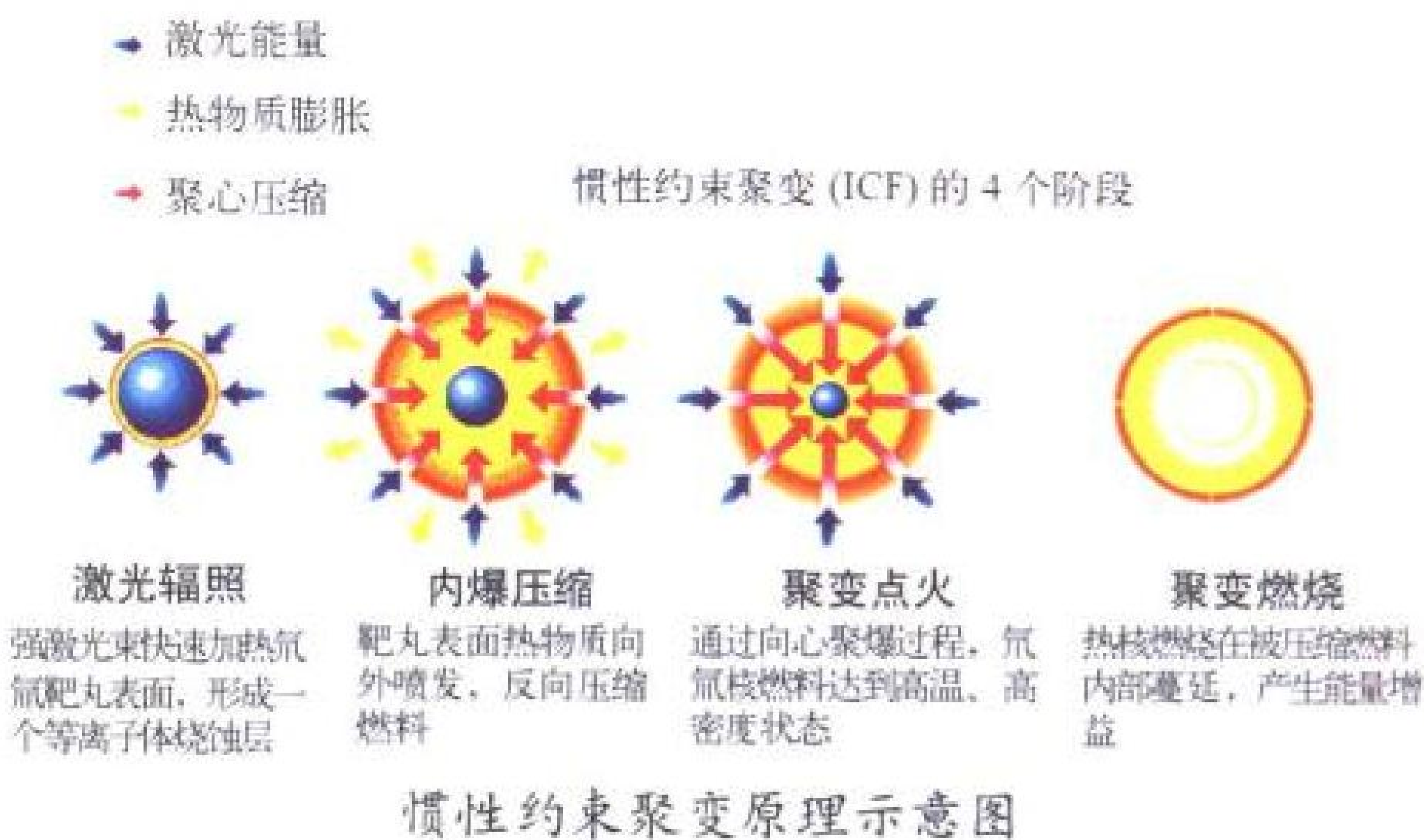


惯性约束聚变能电厂示意图

（撰写：张钧　审订：常铁强）

guanxing yueshu jubian yuanli

惯性约束聚变原理 principle of inertial confinement fusion 研究惯性约束聚变整体过程和各个环节规律的基本原理。惯性约束聚变的核心是内爆，通过内爆增压使热核燃料（氘氚）达到高能量密度状态，发生热核反应。惯性约束聚变研究.对



惯性约束聚变原理示意图

称内爆环境的形成、烧蚀驱动内爆压缩、点火和燃烧（以激光直接驱动为例，见图）。靶设计的特点是大形状比和高收缩比内爆，因此要求驱动有高的对称性以控制非球对称变形和内爆流体力学不稳定性。（撰写：常铁强　审订：朱少平）

guangdian xiaoying

光电效应 photo electric effect 见γ射线与物质的相互作用。

guangdian yinji

光电阴极 photocathode 利用材料的光电子发射特性，将光能变为发射电子的功能材料。人们已经发明了几种具有较高光电转换效率的光电发射体，称它为实用光电阴极。衡量一个光电阴极性能的重要参数是它的量子效率。它定义为每一个入射光子可以产生多少个光电子。根据爱因斯坦的光电方程 $h\nu = E_k + h\nu_0$，式中 ν_0 为材料光电效应的截止频率；E_k 为材料的逸出功；ν 为入射光子的频率，材料的逸出功是非常重要的，在相同的条件下，E_k 越低，越容易发生光电效应，也就越适合做光电阴极材料。因此，提高光电材料量子效率的一个重要途径就是降低该材料的逸出功。通常情况下，半导体材料具有较低的表面势垒和逸出功，因此现在大部分实用的光电阴极都使用半导体材料。光电阴极主要用于信号的光电转换、图像的光电变换和大电流的超短脉冲电子源等。这些应用要求光电阴极有高的积分灵敏度，宽的光谱响应特性，较小的暗电流，快的响应速度和稳定的光电子发射能力。

（撰写：赵菱　审订：关遐令）

guangxue moxing

光学模型 optical model 把入射粒子与靶核碰撞发生散射或吸收的过程描述为入射粒子在靶核平均势场中运动的一种核反应模型。这种势场以靶核中心为原点、有一定半径和深度，称为光学势。为了描述靶核对入射粒子的吸收，光学势取复数形式。通过符合实验数据用唯象方法确定的光学势，称唯象光学势；通过核结构微观理论作近似计算得到的光学势称微观光学势。最常用的唯象光学势是伍兹—萨克森（Woods–Saxon）型势。光学势通常分为实部势、虚部势、自旋—轨道耦合势。虚部势又往往分为体吸收和面吸收两种。自旋—轨道耦合势对研究极化核反应起重要作用。利用以上光学势，经过仔细选取光学势参数后，通过求解薛定谔方程可以成功地解释核反应的散射和吸收现象。在低能核反应理论中，光学模型是最重要和最成功的模型理论之一。

（撰写：申庆彪　审订：许谨诚）

guangzi huohua fenxi

光子活化分析 photon activation analysis 入射粒子是光子

的活化分析。用于辐照的光子源可以是发射γ射线的放射性核素（如^{124}Sb，^{226}Ra 等），核反应产生的瞬发γ射线或电子加速器提供的高能电子轰击重元素靶产生的韧致辐射。一些中子活化分析难以测定或灵敏度极低的碳、氮、氧、氟等轻元素，碲、锗、钇、铑等中重元素和铊、铅、铋等重元素可采用光子活化分析。此外，光子活化分析在对富含高中子吸收截面元素（锂、硼、镉、稀土等）或生成强干扰放射性元素（钠、溴、磷等）等不适于中子活化法的样品分析，也具有优势。光子对物质的强穿透能力有时对分析大样品还能发挥独特作用。作为中子活化分析和其它痕量分析方法的互补性技术，光子活化分析在环境、生命、地球、材料等科学领域发挥了不可替代的作用。 （撰写：田伟之 审订：吕延晓）

guangdao changqi de hebaozha xiaoying

广岛、长崎的核爆炸效应 nuclear explosion effects on the Hiroshima and Nagasaki 日本广岛、长崎遭原子弹袭击后的毁伤效果及其引起的社会效应。第二次世界大战结束前夕，美国于1945年8月6日在日本广岛投下了一颗重约4.1 t，取名"小男孩"的枪法铀弹，爆炸威力约15 kt TNT。8月9日又在长崎投下了取名"胖子"的内爆法钚弹，重约4.5 t，爆炸威力约为23 kt TNT。两次袭击都是采用空爆方式。两城市遭核袭击后，各种机构处于瘫痪状态，医疗、救护难于进行，城市毁伤情况无法作出准确的统计。根据战后美、日两国的调查，估计爆后离



广岛遭核袭击后的瓦砾堆

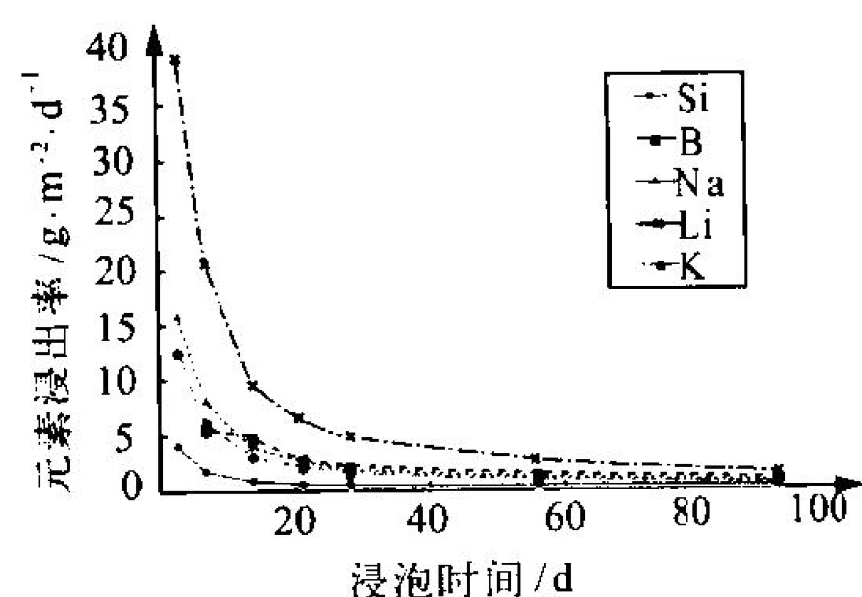
爆心投影点约5 km范围内，广岛的死亡人数约为68000人，受伤人数约为76000人，死伤人数约占该范围内总人数的56.2%；长崎的死亡人数约为38000人，受伤人数为21000人，死伤人数约占该区总人数的34%。两城市受核辐射损伤后幸存人员的致癌和白内障的发生率，也有明显的增加。广岛爆心投影点附近12 km^{2}内的建筑物几乎全被摧毁（见图），全市房屋被毁62.8%；长崎68%的工厂被毁坏。由于广岛地势平坦，建筑物密集，爆后还发生了"火灾暴风雨"，加重了核爆炸的毁伤作用。美国对广岛、长崎的核袭击，开创了核武器用于战争的历史。 （撰写：华 鸣 审订：乔登江）

guiyihua jinchulü

归一化浸出率 normalized leach rate 归一化为组分i浸出性能的浸出率，它由下式得到

$$(LR)_i = \frac{A_i}{A_0} \cdot \frac{W_0}{S \cdot t}$$

式中 $(LR)_i$ 为组分i的归一化浸出率[g/(m^2·d)]；A_i为组分i浸出的质量(g)；A_0为组分i的初始质量(g)；W_0为用于浸出试验的试样的初始质量(g)；S为浸出试样与浸泡剂接触的表面积(m^2)；t为浸出试验时间(d)。这是表示固化体浸出性最常用的方式（见图）。由于它与组分i在固化体内的初始含量相关联，因此其数值大小反映固化体内各组分浸出的难易程度。其值仅具有相对性，并非该组分浸出的绝对量。 （撰写：汤宝龙 审订：罗上庚）



玻璃固化体主要组分的归一化浸出率

guiding xianzhi

规定限值 prescribed limits 由国家监管部门确定或认可的限值。民用核设施的选址、设计、建造、运行和退役必须贯彻安全第一的方针；必须有足够的措施保证质量，保证安全运行，预防核事故，限制可能的有害影响；必须保障工作人员、群众和环境不致遭到超过国家规定限值的辐射照射和污染，并将辐射照射和污染减至可以合理达到的尽量低的水平。核设施设计安全规定所明确的设计基准，为核设施在正常运行、预计运行事件和事故工况下防止反应堆堆芯的严重损坏、以及抑制放射性物质的释放提供保障；并且使之在运行状态下低于规定限值，事故工况下低于可接受限值。

（撰写：王秀清 审订：俞尔俊）

guihua xianzhiqu

规划限制区 a zone with particular requirement for planning 在核设施周围划定的一定大小的隔离带（区），在该区域内的某些生产开发活动应当加以限制或控制，如对人口机械增加过快、过大的项目进行限制，对可能危及核设施安全的项目应当禁止。规划限制区是在审批选址阶段环境影响报告书时要考虑的重要问题。规划限制区有两个作用：一是对核设施的环境影响起缓冲作用，二是有助于应急计划的实施。每一个核设施都应有一个规划限制区，限制区的大小取决于设施的规模和性质，特别是放射性物质非计划排放的情况。规划限制区的距离可以小到几百米，也可大到几公里。规划限制区一定要得到所在地土地、城建和规划部门的认可，并在城市（或区域）规划中明确标出来。 （撰写：赵亚民 审订：潘自强）

guiguangdian erjiguan tanceqi

硅光电二极管探测器 silicon photo diode detector 由硅构成的核辐射探测器有两类：一类是直接用于探测和测量核辐射，如各种各样的硅面垒探测器、硅（锂）探测器、硅位置灵敏探测器等。另一类是间接探测核辐射，是探测由闪烁体将核辐射转换成的闪烁光，这类硅探测器称硅光电探测器。它与常用的光电倍增管一样，都是将光转换成电信号，所不同的是硅光电探测器具有小巧、轻便、量子效率高、功耗低（工作电压一般小于100 V）等特点。硅光电探测器有三种，即硅光电二极管、硅PIN光电二极管和硅雪崩光电二极管，与闪烁体组合主要用于高能电子和γ射线的探测和测量，在高能物理、核医学的应用中已逐步替代光电倍增管，是小型轻便的测量核辐射的装置。 （撰写：丁洪林 审订：李广将）

guihuayou

硅化铀 uranium silicide 铀与硅组成的二元化合物。铀硅系中的U_3Si和U_3Si_2属高密度铀化合物，是弥散型燃料的重要燃料相。前者在1198 K发生包析分解时生成，其含铀密度高，质地软，延性好，抗水腐蚀性好，性质更接近于铀合金。后者的熔点虽比氧化铀、碳化铀的低很多，但其密度介于两者之间，许多性质与陶瓷UC相近。两者的室温物理性质见表中所示。它们都是脆性材料，因此可用电弧或感应熔化和铸造成锭，再由常规的球磨或锤磨制成颗粒。U_3Si_2的抗辐照

肿胀性能优于U_3Si。目前U_3Si_2–Al弥散型燃料已成为高富集度铀的替代燃料。

U_3Si 和 U_3Si_2 的物理性质

	熔点(或分解温度)/K	晶体结构	密度 /g·cm⁻³	比热容 /J·(kg·K)⁻¹	热导率 /W·(cm·K)⁻¹	热膨胀系数/10⁻⁶K⁻¹
U_3Si	1198	体心四方	15.4	176.6	15	15.8
U_3Si_2	1843	四方	12.2	230.0	15	15.2

（撰写：李文埮　审订：张忠岳）

guilipiaoyi bandaoti tanceqi

硅锂漂移半导体探测器 lithium drifted silicon semiconductor detector [Si(Li)detector]　利用锂离子漂移技术制造的硅PIN型半导体探测器(见图)。锂的电离能低、离子半径小，在电场作用下易于漂移过硅晶格。制作时先在P型硅片的一面扩散锂，然后加上反向偏压，并在一定温度下让锂离子漂移入P型硅内部，锂在硅中是施主杂质，它与原来的受主杂质相互补偿，锂补偿区的宽度与漂移时的温度、漂移时间、电场强度以及硅材料的性质有关。被锂补偿了的区就是探测器的灵敏区。硅(锂)探测器可用于质子、电子及α粒子等的探测。探测器在77 K温度下，再配以适当电子仪器构成的X射线谱仪，能量分辨率很高，可用以探测和分辨几乎所有元素的特征X射线，用于非破坏性的微量元素分析。由硅(锂)探测器构成的扫描电子显微镜，还可以开展微观形貌和结构研究。还可在人造卫星上用作太空X射线的结构研究。（撰写：俞嗣姣　审订：张文成）

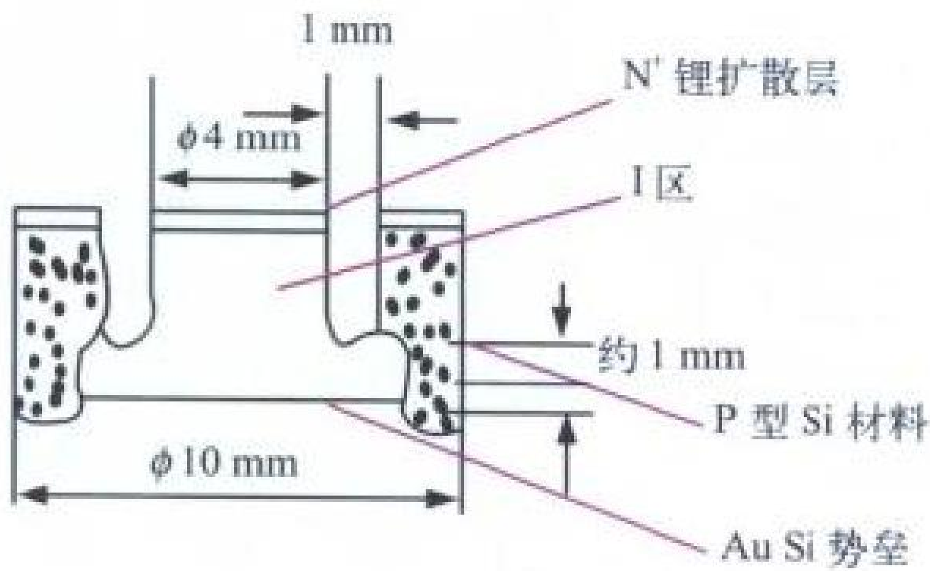


图1　硅(锂)漂移半导体探测器示意图

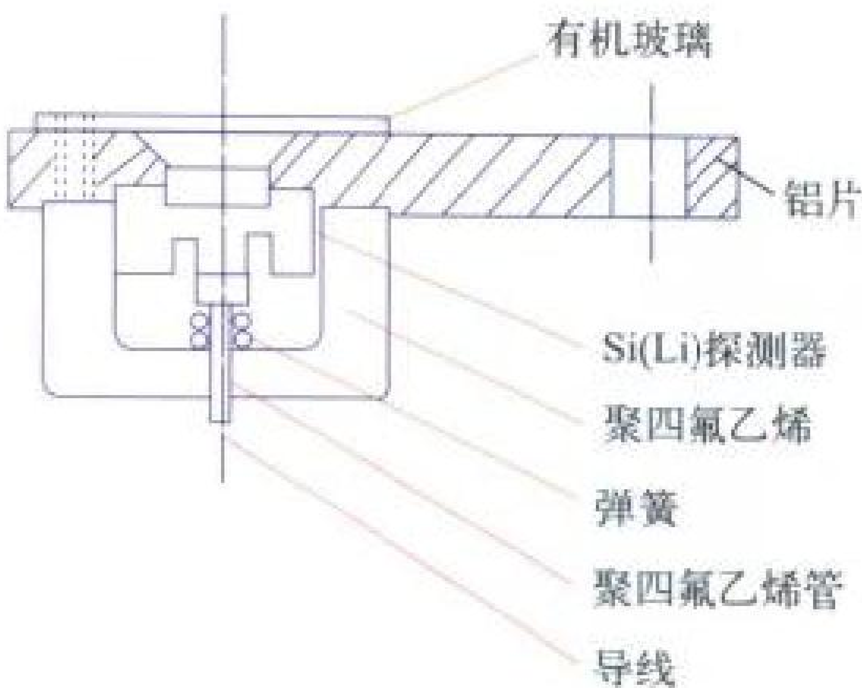
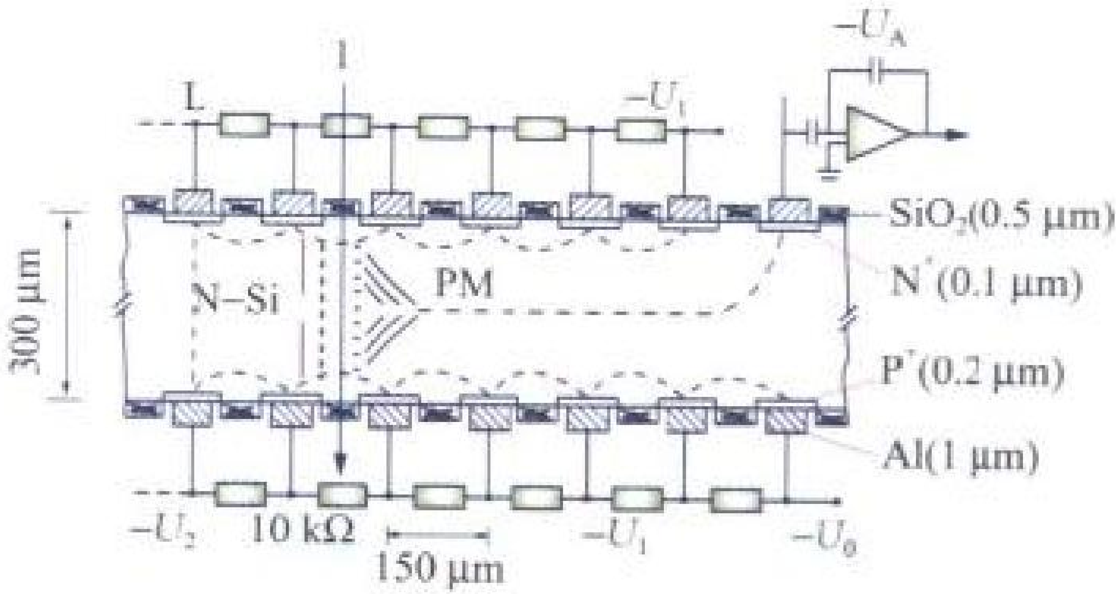


图2　硅(锂)漂移半导体探测器封装示意图

gui piaoyishi

硅漂移室 silicon drift chamber　又称存储探测器，是近几年发展起来的一种新型半导体探测器。由带电粒子耗损能量产生的电子、空穴，电子被存储在探测器内并使它沿着与硅平面大体平行的方向进行漂移，从电子漂移时间导出位置信息。它的结构和工作原理见图。当加上反向偏压后使硅片达到全耗尽，硅片内部的电位分布成抛物线(如图中点线所示)，沿中心平面电位最低。当电子在某处产生后就会落到这位阱的谷中，然后沿电场的纵向分量向N^+漂移，通过测量漂移时间而获得位置信息。它具有特殊的电极结构，有如下特点：



硅漂移室示意图

(1)可以大大节省电子学仪器；(2)它的电容很小，相应的成形时间约100 ns；(3)它允许的计数率比普通探测器高几十倍；(4)定时精度可达1 ns左右；(5)位置分辨可达几微米。它的主要缺点是由于电极结构复杂，价格也贵得多。

（撰写：丁洪林　审订：李广将）

guidao dianzifuhuo

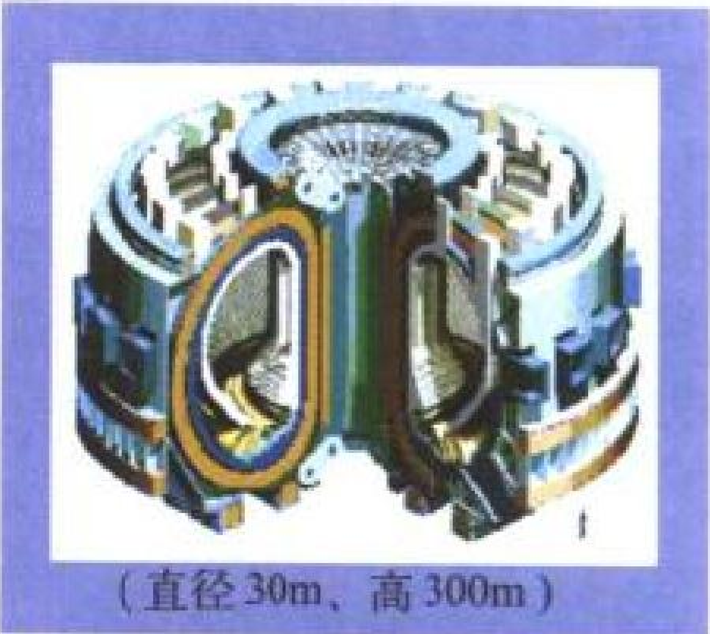
轨道电子俘获 orbital electron capture　见β衰变。

guofang feiwu

国防废物 defence waste　为国防目的开发利用核能和核技术所产生的放射性废物。又称军用废物。如核武器研究、制造和试验，核潜艇服役，核弹头贮存，军用放射源的研制和生产过程等所产生的放射性废物。从废物的特性看，国防废物与以民用(商用)为目的产生的放射性废物是相似的，其治理的目标和技术也是相同或相似的，均应满足国家有关法规、标准规定的要求。（撰写：孙东辉　审订：王显德）

guoji rehe shiyandui

国际热核实验堆 international thermonuclear experimental reactor (ITER)　是尚处于设计阶段的国际合作的实验性聚变堆(见图)。1985年由美国和苏联首脑会议倡议，在国际原子能机构IAEA赞同下，根据欧洲、日本、前苏联和美国政府四方达成的协议进行研制。其总目标是演示聚变能和平利用的科学与技术可行性，演示受控的氘—氚等离子体点火并以稳态为最终目标的长时间燃烧，在一个综合系统中演示聚变堆的重要技术，并完成所需高热流密度核部件的综合考验。一系列大型部件原型模块的成功制造和试验论证了它的工程技术可行性。由于政策变动，1998年美国宣布退出。同年夏，开始了为期3年的ITER降低费用设计研究，目标为费用降低一半。（撰写：黄锦华　审订：钱尚介）



国际热核实验堆

guoji yuanzineng jigou 93+2 jihua

国际原子能机构"93+2"计划 IAEA's programme 93+2　国际原子能机构一项旨在评定、发展和试验加强核保障体系有效性和提高核保障体系效率的一整套核保障措施的计划。该计划于1993年12月由机构秘书处提出，要求在两年内完成，故称"93+2"计划。该计划的目标是在两年内对一整套加强核保障措施的技术、财政和法律方面问题作出评估，并且于

1995 年年初就一个加强的和效率更高的核保障体系提出建议。"93+2"计划所建议的一整套加强核保障措施分为两部分，第一部分是机构原保障协议已有法律授权的措施，第二部分是需要补充法律授权才能实施的措施。1997 年 5 月理事会批准了核保障协定的附加议定书范本（文件 INFCIRC/540），是为第二部分措施提供补充法律授权的附加议定书的依据，这也表明"93+2"计划已经完成，机构将开始执行新的加强核保障体系。加强的核保障体系是在原有以核材料衡算为基础的核保障体系中增加"93+2"计划所提出的一整套加强核保障措施，以提高机构探知未申报核材料和核活动的能力。

（撰写：程微微　审订：金惠民）

guojia dianhuo zhuangzhi

国家点火装置　National Ignition Facility　美国为实现激光聚变点火而设计的激光装置。它是由美国能源部 3 个国家实验室（劳伦斯·利弗莫尔国家实验室，洛斯·阿拉莫斯国家实验室以及圣地亚国家实验室）和罗切斯特大学共同设计建造的大型激光驱动器。　（撰写：王世绩　审订：雷仕湛）

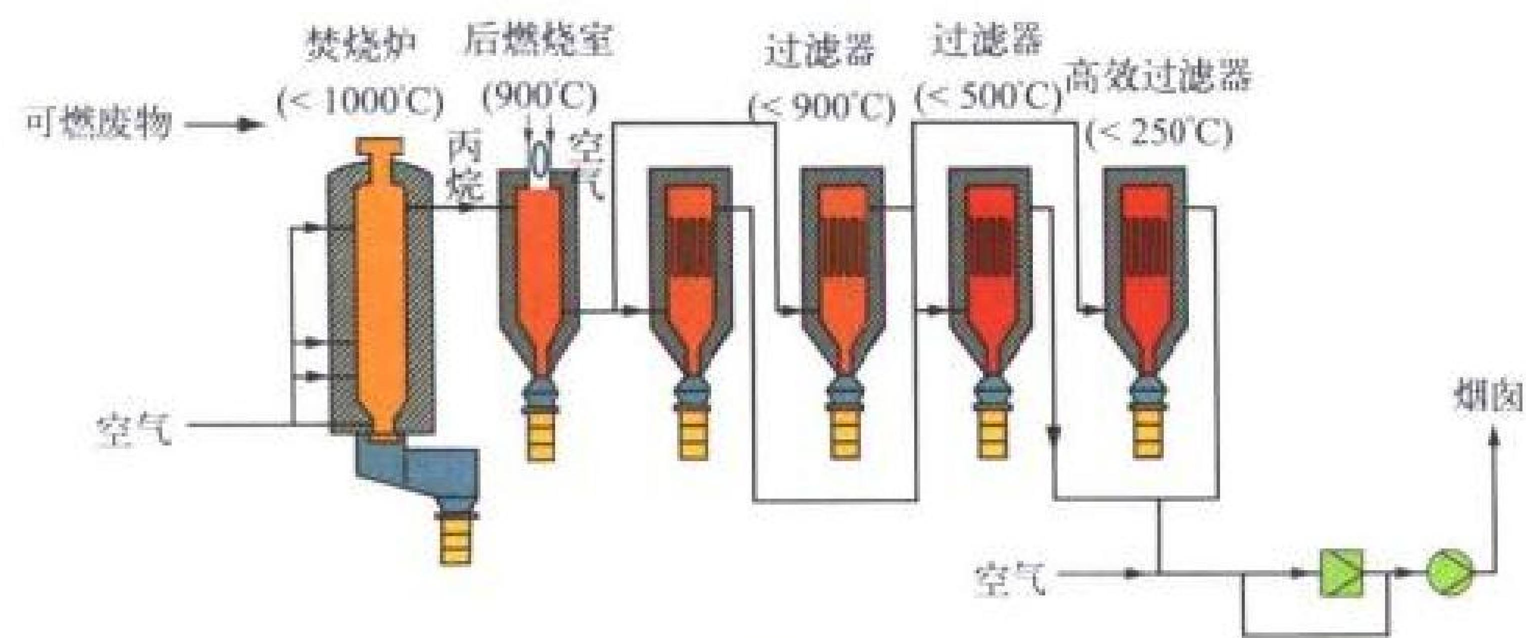
guojia hecailiao hengsuan he kongzhi xitong

国家核材料衡算和控制系统　state's system of accounting for and control of nuclear material (SSAC)　国家级衡算和控制系统要特别达到如下两个目标：(1) 国家目标，是对国内核材料进行衡算与控制，以助于探知核材料可能的丢失、非法使用和非法转移；(2) 国际目标，是根据当事国和国际原子能机构间达成协定的规定，为机构实施核保障提供基本依据。遵照文件 INFCIRC/153 的核保障协定，要求当事国必须建立和保持一个核材料衡算和控制系统。该系统必须以核材料平衡区为基础，制定相应的条款并在辅助安排中作出规定，以满足如下要求：(1) 建立一个测量系统以确定接收、生产、发运、损失或以其他方式使存量变化的核材料数量以及核材料存量；(2) 评估测量精密度和准确度，并评估测量不确定度；(3) 建立确定、审查和评估收发差的程序；(4) 建立实物盘存的程序；(5) 建立累积的未测量存量和未测量损失的评估程序；(6) 每个材料平衡区应建立一个记录和报告系统以表明平衡区的材料存量以及包括运进和运出材料平衡区的存量变化；(7) 为确保衡算程序和安排的正确运行，制定有关规定；(8) 建立向机构提交报告的程序。

（撰写：程微微　审订：李　泽）

guoliang kongqi fenshao

过量空气焚烧　excess-air incineration　在空气供应量大于理论计算量情况下进行的焚烧处理方式。这是较早使用，也是目前放射性废物减容应用最多的焚烧方式。其优点是炉体结构和操作简单。缺点是燃烧不完全，烟气中焦油、烟炱多，



过量空气焚烧示意图

烟气净化难。为解决其不足发展了高温陶瓷过滤器，烟炱和焦油阻留在陶瓷过滤管的外表面上慢慢地烧掉，起到后燃烧室的作用。另一种办法是采用高温石棉层过滤器，焦油和烟炱可在石棉层上慢慢烧掉，过滤器对微米级粉尘的过滤效率达 90%。滤后烟气用空气稀释降温至 150℃，再进入高温高效微粒空气过滤器，最后通过烟囱排出（见图）。

（撰写：罗上庚　审订：范显华）

guoliang zhaoshe

过量照射　overexposure　应急和事故情况下，所受剂量超过职业性照射剂量限值的照射称为过量照射。过量照射可分为：稍微超过剂量限值的照射；显著超过剂量限值但低于确定性效应阈值的照射；接近或高于确定性效应阈值的照射。过量照射产生的随机性效应可能是对受照个人有害的致癌效应，也可能是对其后代有害的遗传效应，该效应的发生概率与剂量的大小有关。当剂量超过确定性效应的阈值时，可发生确定性效应，如眼晶体混浊，视力减损，暂时或永久不育，有临床意义的造血功能抑制，皮肤损伤等，该效应的严重程度与剂量的大小有关。有些确定性效应是功能性的，只要损伤不过于严重，它们是可逆的。另外，在事故情况下，当机体一次或短时间（数日）内受到大剂量照射时，可能产生急性放射病。　（撰写：李素云　审订：周永增）

guoling zhenbieqi

过零甄别器　zero-crossover discriminator　把信号成形为具有过零点的信号，然后触发一个零阈值甄别器而得到定时输出脉冲的定时电路。由于用线性系统成形的信号其过零时间不随信号幅度而变，所以由幅度引起的时间游动可以消除，但信号波形变化引起的时间游动依然存在。因此，过零法只适用于输入信号波形变化不大的场合。

（撰写：刘　杰　审订：席德明）

guolü

过滤　filtration　利用多孔过滤介质，以压差或其他外力为推动力，使固液混合物（悬浮液）中的液体通过介质的微孔，而固体粒子则被截留的分离过程。因过滤过程的推动力不同可分为重力过滤、加压过滤、真空过滤和离心过滤。过滤是靠固体粒子群在介质上通过架桥作用堆成疏松的滤饼来实现的。　（撰写：关自斌　审订：王志章）

guoyanghuawu chendian

过氧化物沉淀　peroxide precipitation　以过氧化氢为沉淀剂从酸性铀溶液中沉淀铀化合物的工艺过程。化学反应式如下



$$UO_2SO_4+H_2O_2+H_2O \rightleftharpoons UO_4\cdot 2H_2O\downarrow+H_2SO_4$$

最初的沉淀产物可能是含较多结晶水的水合物，如 $UO_4\cdot 4H_2O$，为淡黄色沉淀，经100℃干燥后得到最稳定的水合物 $UO_4\cdot 2H_2O$。加入过氧化氢必须过量，以保证铀沉淀完全。沉淀的 pH 值为 2.5～4.0，最佳 pH 值为 2.8 左右，过程中要加入一种合适的碱，以中和反应生成的酸，使溶液的 pH 值始终接近于最佳值；适宜的温度为 30～65℃；严格控制 pH 值及温度有利于生成晶状产物。溶液中的硫酸根和三价铁超过一定浓度时，不利于铀的沉淀，这可通过预中和沉淀加以克服。过氧化物沉淀法的优点是对铀的选择性高，过程中不引入有害物质，母液成分简单可返回利用，有利于环境保护。

（撰写：赵锡熊　审订：许根福）



hailufeng

海陆风 land and sea breezes 海洋和陆地热力性质差异引起热力对流而形成日夜循环的中尺度环流，表现为沿海地区白天风从海上吹向陆地（海风），夜晚从陆地吹向海洋（陆风）。环流上部的气流方向有相反趋势，称回流或返流。海陆风的产生主要是在晴朗天气条件下，太阳辐射加热使陆地表面及其上面的气柱升温比水面快，上空产生指向海洋的气压梯度和流动，海面上出现流向陆地的海风。夜晚陆地冷却比海面快，产生与白天相反的过程，导致底层气流从陆地吹向海洋。影响海陆风的因素很多，其规律性因纬度、季节、天气条件、海岸和陆地地形而异。典型海风常常于中午前后开始，逐步向内陆推进，傍晚前后达到旺盛阶段，这时海风层厚度可达数百米、地面风速以2～3级最为常见，中纬度地区深入陆地的范围一般达数十千米，低纬度、特别是热带可达100 km以上。海风环流通常在午夜前止息，随之开始陆风时段。陆风风速经常很弱，结构和演化不及海风清晰。海陆风是一种反映各种气象因子综合作用的中尺度大气环流，很早就引起气象学家的兴趣。由于它对沿海地区污染散布有重要影响，近二三十年来进行了更多的观测和数值研究。海陆风对污染物区域性散布有三方面影响：一是海风锋面气流的辐合造成污染物堆积，高污染物浓度带随海风入侵向内陆推进；二是海陆风的日循环将输送到一定距离的污染物带回原区域的重复污染或在海陆风转换期搬运缓慢的就地污染；三是海风带入内陆的污染物随空气上升运动、然后随上层回流返回的循环污染。就目前了解，我国以东南沿海夏季副热带高压控制下出现的海陆风最为典型，如福建惠安一带夏季月份具有海陆风环流特征、能形成重复污染的日数达40%以上，其中不乏结构鲜明、变化有规律的个例。

（撰写：陈家宜　审订：蔡旭晖）

haimiantu

海绵钍 spongy thorium 在钍的熔点（1842℃）温度以下，用金属热还原、熔盐电解等方法从钍卤化物或氧化物制取金属钍所得到的产品。它为块状的多孔性钍，呈海绵状。海绵钍是制备核反应堆用致密金属钍的原料。工业上制备海绵钍的重要方法是有 ZnO 时，用钙热法还原 ThF_4 和镁热法还原 $ThCl_4$，其次是用钠汞齐还原无水 $ThCl_4$。钍与锌、汞形成易熔合金，并以这样的形式从反应的副产物（残渣）及未被还原的卤化钍中分离出来，然后进行真空蒸馏。易挥发的金属锌、汞被蒸馏出来，留下海绵钍。还原过程在充以惰性气体、有搅拌的密封容器中进行。海绵钍的机械性能差，不能直接用于核反应堆，必须制成致密的金属钍。一般采用以海绵钍作电极的焊接法将海绵钍转变成致密的金属钍。

（撰写：关自斌　审订：程光荣）

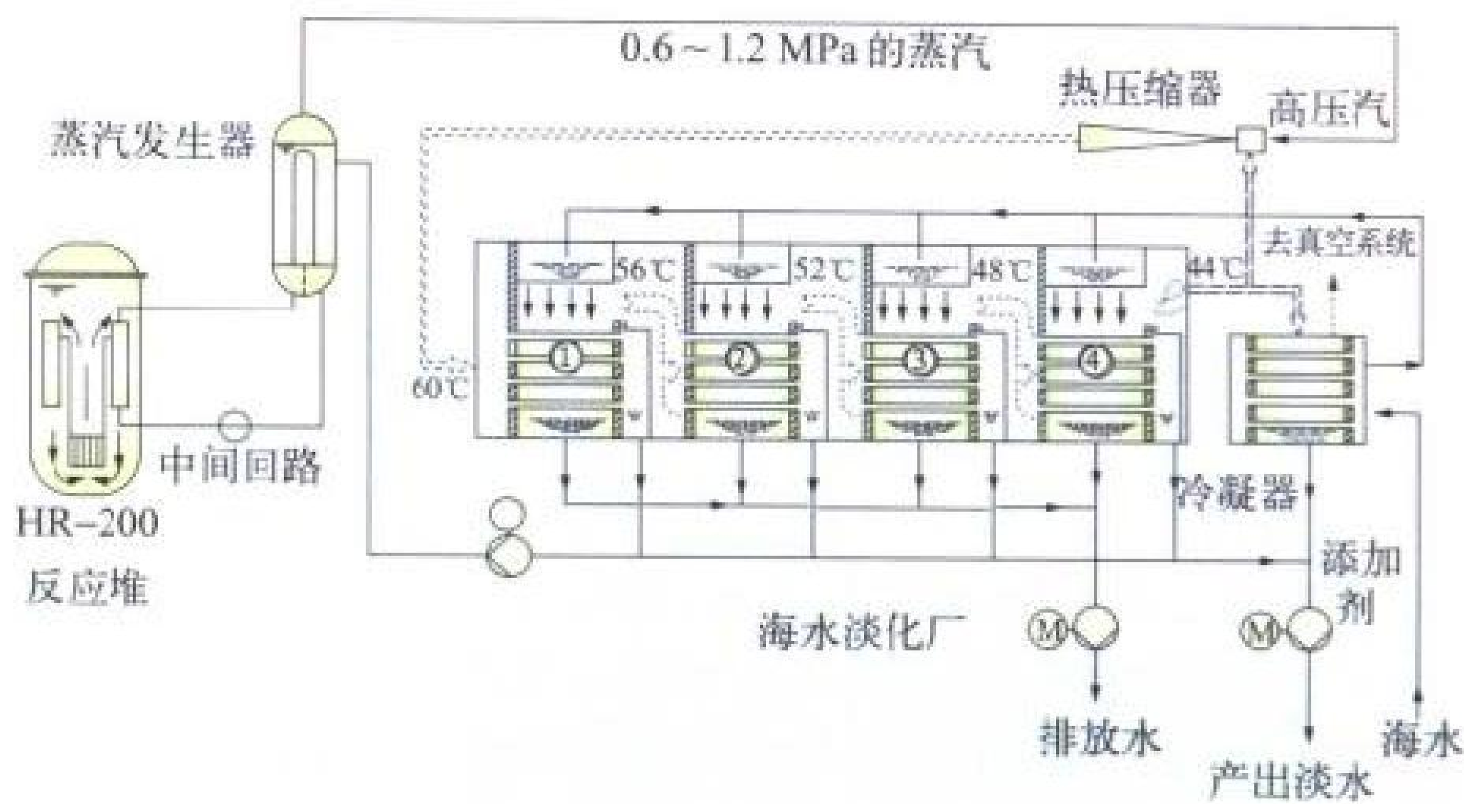
haiqu fushe zhencha

海区辐射侦察 sea area radiation reconnaissance 为查明核爆炸后遭受放射性沾染海域的γ辐射水平（γ剂量率）而进行的侦察。主要任务是：查明舰船停泊场、航道、战斗活动海域的沾染区范围和γ剂量率分布。

（撰写：王坚　审订：毛用泽）

haishuidanhua fanyingdui zhuangzhi

海水淡化反应堆装置 nuclear desalination unit 利用核反应堆产生的热能使海水脱盐转化为淡水的装置。海水脱盐通常只要求 140℃以下的热水（汽），因而采用低温供热堆比较适合。其原理如图所示。反应堆冷却剂回路采用一体化布置，全功率自然循环，在主热交换器中将热量传给中间回路，中间回路是将反应堆放射性水与海水淡化厂水回路隔开的一个回路。在中间回路蒸汽发生器内将热量传给海水淡化厂水回路的水，使之蒸发和升温至 130℃，再通向淡化厂蒸发海水，使海水脱盐。海水脱盐常用多级闪蒸和多效蒸发两种技术，一般 1 kg 反应堆冷却剂蒸汽可产生 20 kg 左右的淡水。



海水淡化反应堆装置原理图

（撰写：马昌文　审订：李金才）

haishui tiyou

海水提铀 extraction of uranium from seawater 用富集分离等方法从海水中提取铀的过程。海水中铀的浓度很低，仅为 3.3×10^{-9}，其提取过程需包括循环吸附、淋洗，使淋洗液中铀浓度达一定水平后，再用常规方法沉淀铀制取铀化合物产品。全世界海洋中铀总量约为 4.5×10^{9} t，相当陆地铀储量的数千倍。提取方法有沉淀法、生物富集法、离子浮选法、吸附法等。研究最多的、最有可能工业化的是吸附法。对吸附剂的要求是吸附容量大、选择性好、吸附速度快、化学稳定、机械强度好、易解吸再生，且价格低廉。最初主要研究的是水合氧化钛（HTO）无机吸附剂，后来转到有机离子交换树脂吸附剂。吸附装置应能与大量海水接触，且节能易实施。曾研究利用洋流、潮汐流、波动能及泵驱动等方式，使海水通过吸附装置。

（撰写：关自斌　审订：许根福）

haiqi celiang

氦气测量 helium survey 研究土壤、岩石和水等介质中氦的浓度及其分布规律，进行地质研究和找矿的方法。U，Th

系列核素衰变产生的α粒子结合自由电子生成氦。地壳中氦浓度的局部增高与放射性矿产的富集关系紧密。具有极强运移能力的氦可从高浓度富集的地壳深处沿深大断裂带、构造破碎带等通道向地表逸散。这是氦法用作探查构造断裂带的基础。氦法分为氦总量测量和氦同位素测量（测 $^4He/^3He$ 比值）；按取样介质不同，分为壤中氦、土壤释氦和水中氦测量等。 （撰写：蒋永一　审订：李家俊）

hαiqi fαmen

氦气阀门　helium valve　在高温气冷堆各种氦气管路上使用的阀门。氦气是一种难于密封的气体，其价格也高。氦气如有泄漏，不但使放射性物质外溢，而且造成经济损失。所以氦气阀门的轴封应该采用“全密封式”结构。在氦气气氛和一定温度作用下，阀门密封面的金属会严重咬合，因此采用耐磨的、有润滑作用的密封面结构是研制氦气阀门的一个重要课题。氦气阀门有隔离阀、截止阀、流量控制阀、安全阀和减压阀等几类。球床式高温气冷堆还需要有过球阀，它要保证阀门在开启时球形元件能顺利通过，关闭后则要密封和隔断氦气。 （撰写：张振声　审订：何树延）

hαiqilunji

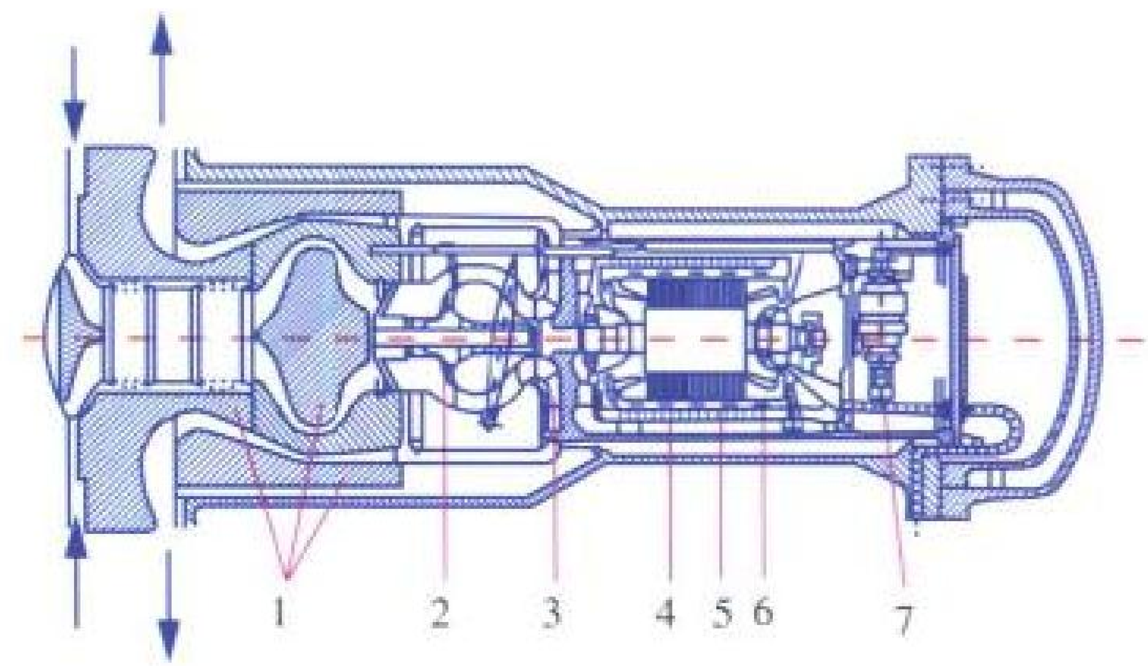
氦气轮机　helium gas turbine　用高温高压氦作为工质把热能转换成机械能的设备。它是为高温气冷反应堆实现氦气直接循环而设计的。氦气轮机的优点是：(1) 氦在低于声速条件下工作，氦气轮机运行平稳、振动小；(2) 可以采用比较小的压缩比；(3) 没有设备腐蚀问题。实验证明，氦气轮机可以做到效率高、体积小、布置紧凑、设备简单。为避免因采用普通轴承带来的油润滑问题，在设计中均采用电磁轴承，并正在着力解决氦气轮机长轴的振动问题。目前为配合高温气冷反应堆设计的氦气轮机的氦气进口压力为 7.0 MPa、温度为 850～900℃，叶片采用镍基合金材料，不必专门进行冷却。氦气轮机用于发电时热效率高达 45%～50%，是一种有发展前途的动力设备。但由于技术上有较大难度，目前还处于试验阶段。 （撰写：张振声　审订：何树延）

hαi 3

氦－3　helium-3　氦的一种稳定同位素。^3He 在氦中的含量随来源不同而异，从空气、天然气、放射性矿物及陨石中所得的氦中，^3He 的含量分别为 $1\times10^{-7}\%$，$(0.2\sim120)\times10^{-7}\%$，小于 $0.2\times10^{-7}\%$ 和 $(1.7\sim31.5)\%$。实用的 ^3He 可由 D–D 反应和氚衰变获得。在常温下，^3He 是无色无臭的单原子气体。化学性质极不活泼，基本上不形成化合物。在超低温 0.002 K 下 ^3He 具有超流性。^3He 有多种用途，例如，用作聚变堆燃料；制造 ^3He 正比计数管和 ^3He–Ne 激光器；获得 0.002 K 超低温等。 （撰写：卢浩琳　审订：韩廷德）

hαi xunhuαn fengji

氦循环风机　helium circulator　高温气冷反应堆内使冷却剂氦气流动的设备（见图）。氦循环风机在高压、高流速和较高温度下运行，对它的可靠性和安全性都要求很高。氦循环风机可以用电动机驱动，也可以用氦气轮机驱动。氦循环风机压头低，送风量大。在设计中要防止油和氦气混合物进入冷却剂回路，也要防止冷却剂回路内的放射性物质进入电机部位，因此必须在叶轮和电机的连结处采取严格的密封措施。新的设计是用电磁轴承替代机械轴承，以省去润滑油系统。



高温气冷反应堆氦循环风机示意图

1—中子屏蔽结构；2—旁路机构；3—氦风机叶轮；4—电动机；5—电动机冷却器；6—冷却水流道；7—伺服电机

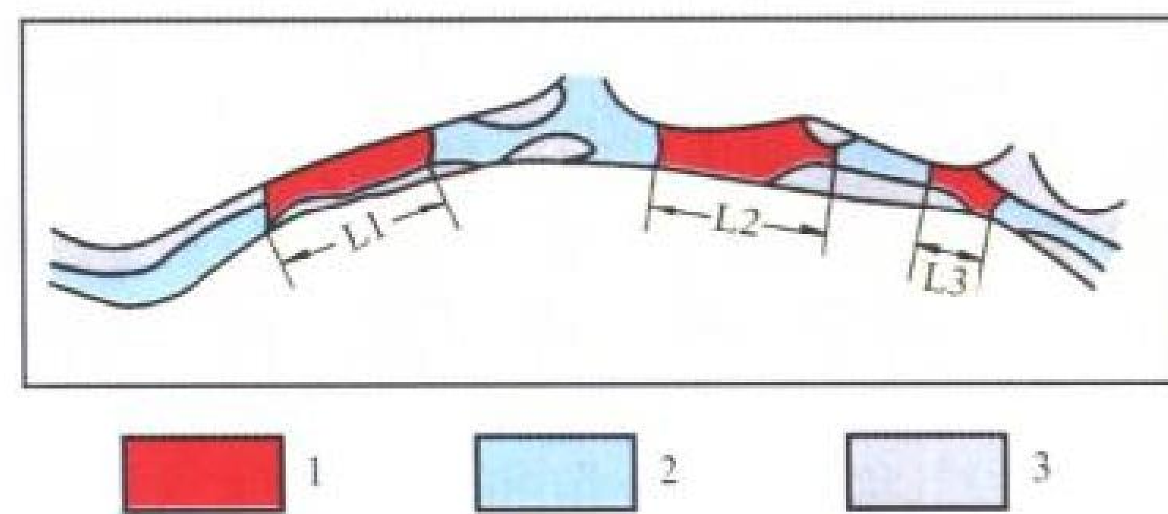
（撰写：张振声　审订：何树延）

hαnkuαng xishu

含矿系数　mineralization coefficient　矿床、矿体或块段中工业矿化部分的数值（如长度、面积、体积）与整个矿床、矿体或块段相应数值之比。根据所用数值不同，可将含矿系数分为线含矿系数、面含矿系数和体积含矿系数三种。线含矿系数的计算公式如下

$$K_P=\frac{\sum L_P}{L}$$

式中 K_P 为线含矿系数；ΣL_P 为可采矿石地段长度之和（m）；L 为矿带总长（m）。线含矿系数测定方法如图所示。含矿系数主要应用于校正块段的储量。



含矿系数的线状测定法示意图

1—可采矿石地段；2—非可采矿石地段；3—无矿地段

（撰写：徐增亮　审订：邓金贵）

hαnmu youkuαng tiyou

含钼铀矿提铀　recovery of uranium from molybdenum-bearing uranium ore　从含钼铀矿石中提取铀，同时综合回收钼的过程。有时，通过选择性浮选可分离出硫化钼精矿。但是在大多数情况下，不能很好分离，而不得不一并浸出，随后从浸出液中进行铀钼分离。方法有：(1) 用氯化钠选择性反萃取铀；(2) 从铀的反萃取液中进行二次溶剂萃取钼；(3) 用活性炭、木炭吸附钼；(4) 硫化物沉淀钼；(5) 离子交换法分离。工业上用溶于煤油的烷基磷酸和磷酸三丁酯的有机相为萃取剂，多级逆流萃取铀，而钼留在萃余液中，铀钼完全分离。然后用胺萃取和氨溶液反萃取富集钼。再从铀和钼的各自反萃取液中回收铀和钼。萃取法缺点是溶剂损失大，当使用磷类萃取剂时对环境有污染。离子交换法也是一种有发展前景的方法。 （撰写：关自斌　审订：程光荣）

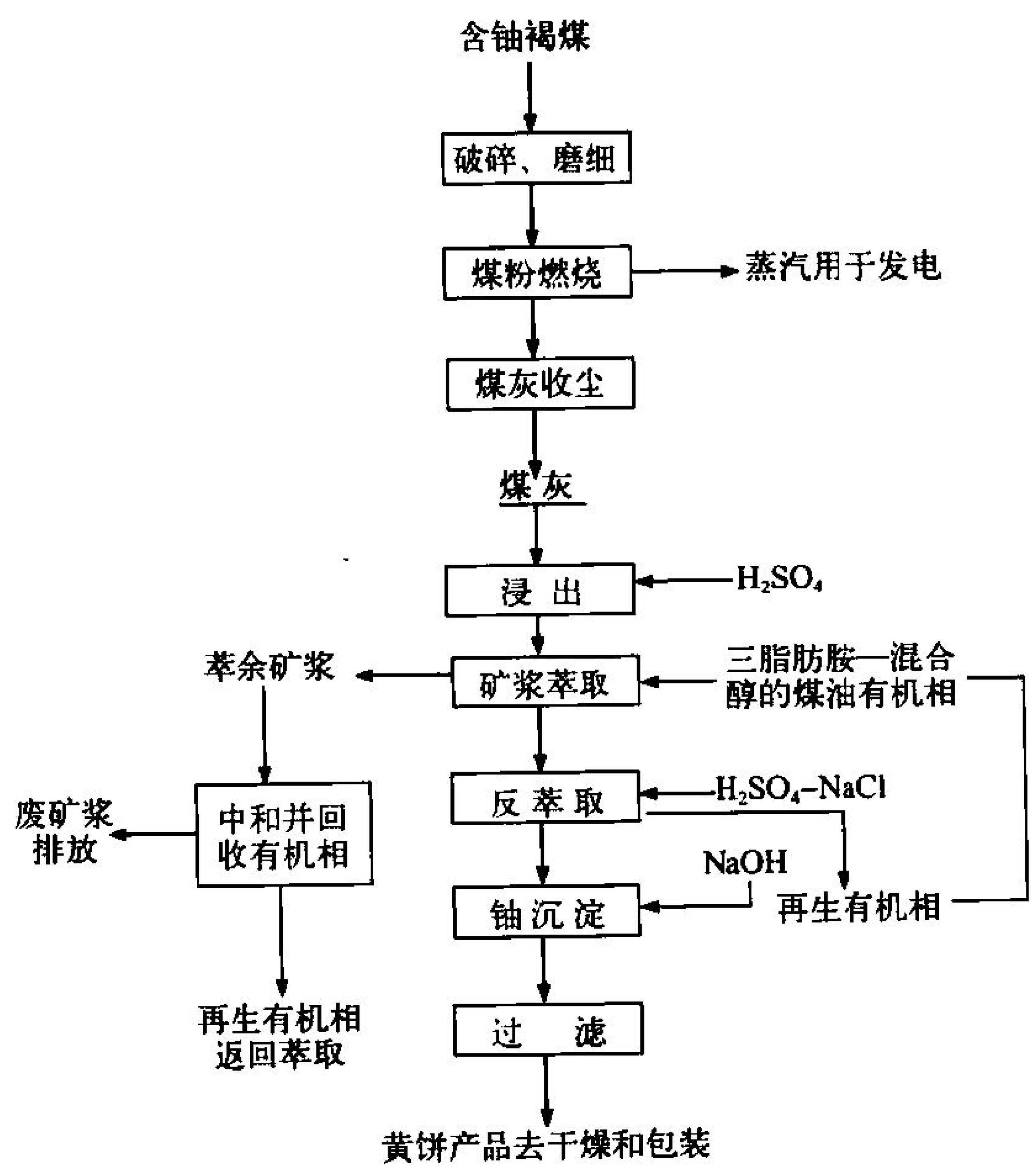
hαnshuiceng

含水层　aquifer　饱含地下水并具有良好透水性的岩层。按含水介质的不同，含水层主要分为孔隙含水层、裂隙含水层和岩溶含水层。由于孔隙介质的成因和产状使地下水分布呈层状，且透水性比较均匀一致，因此采用含水层这一名称

比较合适；对于大多数裂隙基岩，裂隙的发育受构造因素控制，同一岩层的透水性会很不均匀。碳酸盐岩中岩溶的发育受地层、岩性和构造的制约，其含水及透水性极不均匀。地下水主要赋存于裂隙发育带和以岩溶通道为中心的岩溶系统中，因此后二者亦分别称为裂隙含水带和岩溶含水系统。按埋藏条件含水层可分为潜水含水层和承压水含水层。潜水含水层具有潜水面，没有或仅有部分的隔水顶板，有隔水底板。由于它一般不存在隔水顶板的保护，与大气及地表水圈联系密切，积极参与其间的水循环，因此，容易被污染。上层滞水含水层是一种特殊的潜水含水层，当包气带中存在有局部隔水层时，在局部隔水层之上将聚积具有潜水面的地下水体，即上层滞水含水层。承压水含水层是指地下水充满于上、下两个隔水层之间、具有一定承压性的含水层。承压含水层中的地下水相对不易受到污染，但一旦污染后便很难净化。含水层是水文地质学最主要的研究对象。中、低水平放射性废物近地表处置中，含水层成为核素潜在的迁移途径。为保证处置的安全可靠性，在选址和处置场设计时，必须详细调查含水层的分布和水动力学特性，为处置场的设计、建造提供水文地质学依据。（撰写：独仲德　审订：王志明）

hanyou hemei tiyou

含铀褐煤提铀 recovery of uranium from uranium-bearing brown coal　从含铀褐煤中提取铀的过程。它包括火法处理和湿法处理两部分（见图）。提取方法有：(1) 直接从原煤中浸出铀；(2) 先将原煤灰化，继而从煤灰中浸出铀。后者燃煤的能量可用于发电。在燃烧炉中煤粉的灰化，以低温燃烧（1000℃左右）方式进行。常用的设备有流态化燃烧炉、沸腾炉、回转窑等。

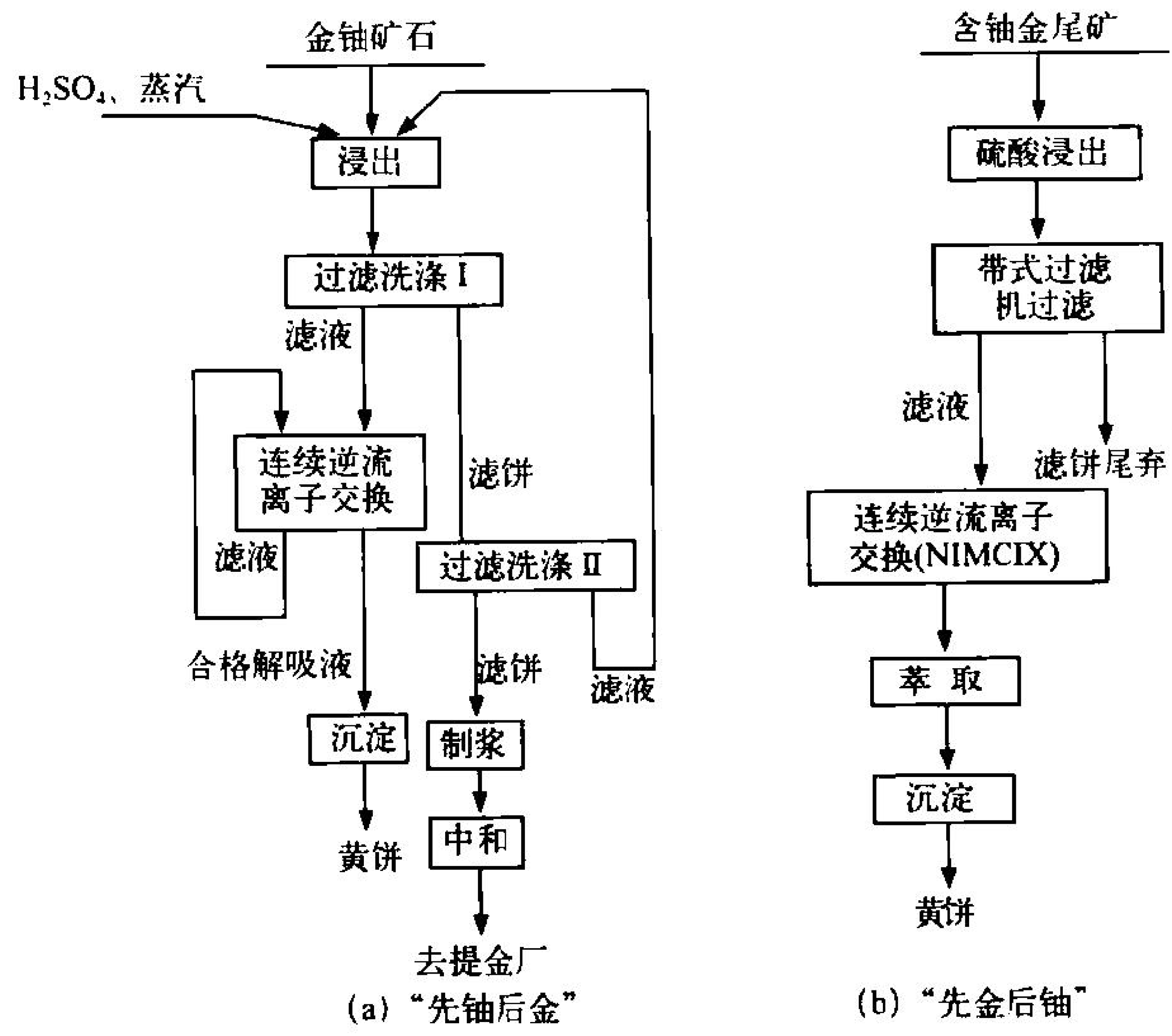


含铀褐煤提铀的流程示意图

（撰写：关自斌　审订：夏润身）

hanyou jinkuang tiyou

含铀金矿提铀 recovery of uranium from uranium-bearing gold ore　从含铀金矿提取铀的过程。它有两种工艺：(1) 先提取金后从金尾矿中回收铀；(2) 先提取铀再提取金。含铀金矿的铀含量一般为 0.02%～0.04% U_3O_8，金 5～20 g/t。最初采用酸浸—清液离子交换—化学沉淀工艺流程，后来开发了以胺类萃取剂萃取铀的 Purex 流程和淋萃流程。如图所示：(a)是应用酸浸—清液离子交换—化学沉淀工艺；(b) 是应用酸浸—清液淋萃—化学沉淀工艺。其产品均为铀浓缩物。



综合回收铀、金流程示意图

（撰写：关自斌　审订：许根福）

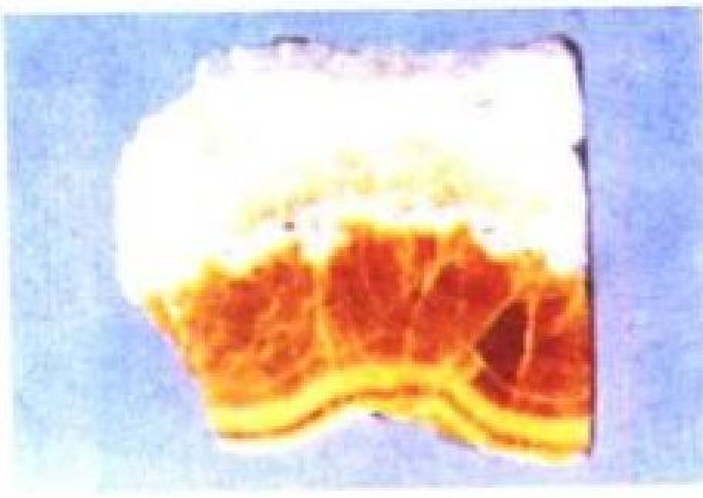
hanyou kuangwu

含铀矿物 uranium-bearing minerals　目前还没有一个公认的概念，一般指在特定地质条件下含铀的矿物。其特点是矿物中铀含量变化大，从千分之几到百分之几，甚至可达百分之几十。根据铀在矿物中的存在形式，含铀矿物可分为两类：第一类是铀以类质同象形式进入矿物晶格。这类矿物有钍、稀土、铌、钽、钛的复杂氧化物、硅酸盐等。例如方钍石，铀以类质同象形式代替钍进入矿物晶格，铀和钍的含量呈负相关关系。含铀方钍石中 ThO_2 含量为 93.02%～58.37%，相应 UO_2+UO_3 含量为 3.38%～33.27%。第二类是铀在矿物中呈吸附状态。这类矿物有钙的氟化物、钼、铁等元素的硫化物，铁、锰、钛等的氧化物，以及部分层状硅酸盐矿物等。本类矿物一般都不含铀，只是在有铀成矿作用的地段含铀。铀含量一般为十万分之几至百分之几。例如含铀磷灰石，铀含量为万分之几至千分之几。

（撰写：赵凤民　审订：胡绍康）

hanyou linhuishi

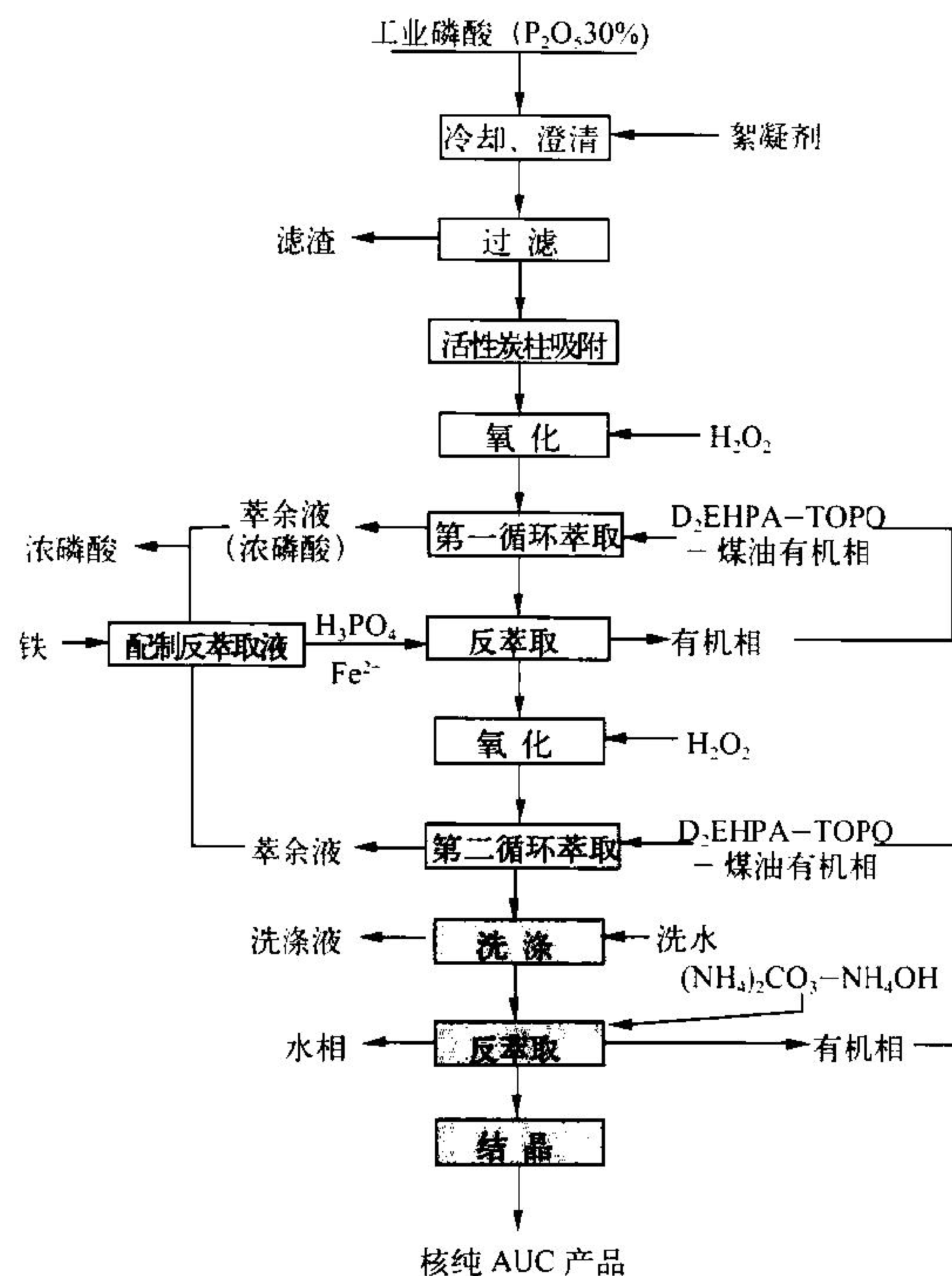
含铀磷灰石 uranium-bearing apatite　磷灰石是一种钙磷酸盐，化学式为 $Ca_5[PO_4]_3$(F, Cl, OH)（见图）。低温成因和外生成因的磷灰石为隐晶质，通称胶磷矿。隐晶质的磷灰石经常富含铀，铀含量一般为十万分之几至万分之五，个别情况可达千分之几。铀在磷灰石中以类质同象、吸附和机械混入物三种形式存在。含铀磷灰石是潜在的铀资源。


橙黄色、黄色含铀磷灰石

（撰写：赵凤民　审订：胡绍康）

hanyou linkuang tiyou

含铀磷矿提铀 recovery of uranium from uranium-bearing phosphate rock 从湿法磷酸生产过程中综合回收铀的过程。用硫酸分解含铀磷矿石制取磷酸。从磷酸中萃取回收铀的工艺有 OPPA (二辛基焦磷酸) 流程、MOPPA–DOPPA (一辛基苯基磷酸—二对辛基苯基磷酸) 流程、D_2EHPA–TOPO [二(2–乙基己基) 磷酸—三辛基氧膦] 流程(也叫双循环萃取法) 和 URPHOS 流程。双循环萃取法制取核纯三碳酸铀酰铵产品的流程如图所示。



用两循环萃取法从湿法磷酸中提铀的流程示意图

(撰写：关自斌　审订：赵锡熊)

hanyoukuang hanshui ceng

含铀矿含水层 aquifer containing uranium deposit 在可地浸砂岩型铀矿床中，分布有一定铀矿层的含水层。矿层位于含矿含水层中，其厚度与含矿含水层厚度比值反映了溶浸液渗透到围岩中量的大小和浸出液稀释程度的高低。含矿含水层根据渗透性的差异，可分为均质含矿含水层和非均质含矿含水层，绝大多数地浸矿山为非均质含矿含水层。比较有利的情况是矿层的渗透性比非含矿含水层的渗透性大或者相等。如果非含矿层的渗透性比矿层渗透性好，对地浸较不利。当矿层的渗透系数与围岩渗透系数为定值时，可以用矿层厚度与含矿含水层厚度比值来评价含矿含水层对地浸采铀的影响：(1) 比值为 0.2～1.0 时，溶浸液分配围岩中的比例及浸出液稀释的程度较小，对地浸采铀最有利；(2) 比值为 0.1～0.2 时，较有利；(3) 比值小于 0.1 时，常引起化学试剂大量消耗在围岩上及浸出液严重稀释，地浸采铀经济效益差，不利于地浸采铀。(撰写：苏学斌　审订：李开文)

hangkong fushe celiangyi xitong

航空辐射测量仪（系统） aerial (air borne) radiation measuring instrument (system) 又称机载 [γ] 辐射仪（系统）。安装在直升机或其他低速飞机上，用于航空辐射侦察（航空巡测），即在核爆或核电厂严重核事故后在空中发现放射性烟羽与地面放射性沾染和测量烟羽与地面 γ 辐射周围吸收剂量率 $\dot{D}^*(10)$、周围剂量当量率 $\dot{H}^*(10)$(以下都简称 γ 剂量率) 分布以实施大范围快速辐射侦察的核辐射探测装备（系统）。具有 γ 辐射能谱测量功能的高灵敏航空辐射测量仪（系统）主要用于地质普查寻找铀矿，陆地天然与人工（核试验全球放射性落下灰）的放射性本底概测，以及核电厂严重事故后场外应急辐射监测以发现与跟踪放射性烟羽、探测放射性核素体积活度，以及测定烟羽沉积到地面后大面积范围内人工放射性核素的质量活度与表面活度的分布。航空辐射测量仪(系统) 的硬件组成通常包括 1 个或多个探测器（如闪烁探测器或高纯锗探测器）组成的探测部件，积分型数字计数装置或多道 γ 能谱分析装置，测量地面至飞机高度的高度计（雷达或激光型），确定测量点地面位置与航线的精确导航设备（如 GPS 导航定位装置），综合数据采集与处理装置，以及遥测时的无线通信与数据传输装置等。系统还应具有完整的应用软件，能将空中测量的数据通过高度校正系数与 GPS 定位读数的自动修正，实时给出地面（离地 1 m 处上空）γ 剂量率与 γ 放射性核素的表面或质量活度。



GR–800D 航空 γ 能谱仪

(撰写：毛用泽)

hangkong fushe zhencha

航空辐射侦察 aerial radiation reconnaissance 使用安装（或配备）机载辐射级仪（γ 剂量率仪）的直升机或其他低速飞机对地面、水域、空域实施的辐射侦察。主要任务是：快速查明广大地域、水域的放射性沾染情况，即 γ 剂量率分布；对 γ 剂量率极高的核爆炸爆心或其他高剂量率地段进行定点（利用直升机）测量；查明核爆炸放射性烟云空中游动路线的 γ 剂量率分布。

(撰写：王　坚　审订：毛用泽)

hangkong γ nengpu celiang

航空 γ 能谱测量 airborne γ–spectrometric survey 见航空辐射测量仪（系统）。

hangkongmujian hedongli zhuangzhi

航空母舰核动力装置 nuclear power plant for aircraft carrier 用于航空母舰的核动力装置。由于航空母舰轴功率较大，一般设双堆。航空母舰空间较宽松，二回路主汽轮机组可采用单机双缸，中间抽汽用来加热给水，从而适当提高动力装置热效率。(撰写：刘聚奎　审订：孙玉发)

hangkong xunce

航空巡测 aerial survey 见航空辐射测量仪（系统）。

hege renyuan

合格人员 qualified person 就核安全管理和质量保证领域而言，符合特定要求、具备一定条件、而且指定执行规定任务和承担责任的人员。对任何重要的工作，特别是影响质量和安全的工作，必须挑选并任命合格人员承担。合格人员必须按照工作进程选择、培训、考核和任用。

（撰写：董柏年 审订：张 健）

heping liyong hebaozha

和平利用核爆炸 peaceful use of nuclear explosion 为国民经济建设或基础科学研究等非军事目的而进行的核爆炸。早在核武器的发展初期，科学界就开始探索核爆炸作为一种特殊能量释放的方式和平利用的可能性。1957年，美国批准实施“犁头计划”，揭开了核爆炸和平利用研究的序幕，至1973年美国为此共进行了48次核爆炸。苏联在1965～1988年间，共进行了115次（128个核装置）和平利用核爆炸。为避免或减少对环境的放射性沾染，这些爆炸都采取了地下爆炸的方式。由于美、苏两国的经济运行方式、生产技术水平、社会环境等方面的差异，对核爆炸和平利用经济可行性的评价也很不相同。1996年开放签署的全面禁止核试验条约实际上已将和平利用核爆炸列入禁止范围。

核爆炸在工业方面的应用主要有：(1) 刺激石油和天然气生产，核爆炸可以在爆心周围较大范围的岩层内产生破裂带，从而提高油气藏的渗透性和回采率。(2) 深层地质勘探。用核爆炸作震源，可以大幅度提高地震探测方法在地质勘探中的效能，也有助于确定找矿和地质勘探的方向。(3) 建造地下贮存库。利用封闭式地下核爆炸，可以在选定的地质岩层中建造天然气、工业和放射性废物的贮存库。(4) 制止气田井喷事故。利用埋设于事故井附近的核装置的爆炸，切断气路，可以有效地制止井喷。(5) 大型挖掘工程。利用开挖性核爆炸开凿运河和人工湖、建造水坝，但这方面的实际应用较少。原因之一是开挖性核爆炸会造成较大范围内土壤、水和空气的放射性沾染。此外，对核爆炸应用于矿岩破碎、铜矿石浸取开采、油页岩开发等，也做过不少研究和试验工作。

核爆炸在科学研究方面的应用主要有以下方面：将核爆炸作为束流极强的脉冲中子源，用于数量极少的短寿命放射性核素的中子截面和裂变产额曲线的测定；利用中子的多重俘获反应生成超重元素锿（原子序数$Z=99$）和镄（$Z=100$）的短寿命同位素，并研究其核性质；利用核爆炸测定物质在高温高压下的性质；将核爆炸作为震源，研究地壳和上地幔的地质结构等。

和平利用核爆炸的目的是为了实施预定的工程、工业生产或科研项目，且只能在项目实施的现场附近进行。这就要求根据不同应用目的和安全需要，设计专用的核爆炸装置，如用于刺激石油、天然气的耐高温（约150℃）的核装置，用于工程开挖的高聚变份额、低污染的核装置等。还要求保障在实施过程中的地震安全和辐射安全，包括对爆后长期的核辐射影响的监测和控制。核爆炸的和平利用是一项集技术、经济和管理于一体的系统工程，需要国家有关部门直接参与和组织。

（撰写：钱绍钧）

he anquan

核安全 nuclear safety 没有不适当的核辐射危害。在核设施和核活动中，设施和活动受到充分保护，且对工作人员，公众和环境不会发生不适当的核辐射危害。包括核设施安全、核材料安全、临界安全、辐射安全、放射性废物安全及核电厂安全。

（撰写：董柏年 审订：潘自强）

he anquan daoze

核安全导则 nuclear safety guides 由国家核安全监管机构制定，说明或补充核安全法规或推荐某种方法、程序的指导性文件。核安全导则不具有法律约束力，而是根据实践经验，针对如何满足基本要求和原则提出建议。在不遵照核安全导则而采用其他的方法和程序时，必须向国家核安全监管机构论证其安全性。

（撰写：任常平 审订：张 健）

he anquan dengji

核安全等级 nuclear safety classification 核设施的构筑物、系统和部件按其是否执行安全功能及此种功能的重要性而划分的等级。凡执行安全功能的物项均属核安全级。不执行安全功能的则属非安全级。在核设施中包容流体的承压机械设备占的份额很大，且所处的条件及具有的重要性也各有不同，安全级承压机械设备为此而又分为三级。对于各种安全级设备，在设计、制造、试验和检查等方面都有特定的要求，还要求规定相应的设计和制造规范等级、质量保证等级、抗震分类和环境鉴定等级。设备的安全等级，对核电厂的安全性和经济性有重要影响，降低等级会影响核电厂的安全性，不适当的提高等级会增加核电厂的造价。在一座压水堆核电厂的设备中，核安全级的台件数约占总台件数的40%，而一件设备由非安全级改为安全级，造价上将提高数倍，由此可看到恰当的分级的重要意义。

（撰写：俞尔俊 审订：董柏年）

he anquan fagui tixi

核安全法规体系 nuclear safety regulations system 由国家立法或行政机构颁布的与核安全有关的法律、法令、条例、章程等文件的总称(见图)。制定核安全法规是为了在核能的研究、开发和利用中保证安全、保证工作人员、公众和环境免受过量的辐射危害。核安全法规的主要内容涉及：(1) 核设施安全；(2) 核材料安全；(3) 辐射防护；(4) 环境保护；(5) 运输安全；(6) 保密保卫；(7) 核事故应急；(8) 事故责任和赔偿；(9) 放射性废物监管等。核安全法规体系通常包括法律、法规、安全导则和技术报告四大类。有些国家把有关核安全的标准、规范也列入法规体系之内。制定核安全法规的主要目的为：(1) 确立国家对核安全监管的法律基础；(2) 建立核安全监管



我国核安全法规体系

机构并授予制定核安全法规独立监管等职责和权力；(3)确立核安全许可证制度和营运单位责任制；(4)为核事故应急、核损害赔偿等提供法律依据；(5)确立核安全目标和基本要求；(6)为达到上述要求提供指导。

（撰写：任常平　审订：张　健）

he anqun gongyue

《核安全公约》 Nuclear Safety Convention　为保持核动力厂安全而制定的一项国际公约。1991年开始起草工作，1994年通过。制定该公约的目的是通过各国加强核安全措施以及国际合作，提高并维持核动力厂的安全水平。该公约的适用范围限于陆基民用核动力厂。公约包括序言和4章正文。在序言中重申核安全的责任由对核设施有管辖权的国家承担。各章的题目分别是：目的、定义和适用范围；义务；缔约方会议；最后条款和其他规定。在义务章中对缔约国、国内的审管部门以及许可证持有的义务作了明确规定。我国已经批准了该公约，并按公约的要求全面展开了核安全工作。

（撰写：赵亚民　审订：潘自强）

he anquan guanli yuanze

核安全管理原则 principles for nuclear safety management　为保证核设施达到和保持既定安全目标而采取的各种控制措施所必须遵循的规则。核安全管理原则包括：(1)确定安全管理系统；(2)制定安全优先政策；(3)创建安全文化；(4)贯彻质量保证制度；(5)保证足量合格人员；(6)实行安全评价和验证；(7)做好应急计划和应急准备；(8)重视经验反馈；(9)重视安全研究；(10)考虑人的能力及其局限性。

（撰写：董柏年　审订：俞尔俊）

he anquan jiben yuanze

核安全基本原则 fundamental principles for nuclear safety　为保证安全，达到核安全目标所必须遵循的，具有普遍意义的规则。核安全基本原则可以归纳为国家监督管理、营运组织核安全管理和核安全技术原则三大类。核安全国家监管：(1)政府必须负责建立一个法律框架，为核安全监管奠立法律基础；(2)政府必须建立一个核安全机构，负责制定核安全法规和许可证制度，并独立行使核安全监督管理职责；(3)立法必须规定核安全的首要安全责任由核设施营运组织承担。核安全管理：(1)营运组织必须对所营运的核设施承担首要的安全责任；(2)负责申请和持有核安全许可证；(3)实施核安全管理，保证核设施的安全；(4)在核安全管理中必须贯彻安全优先政策，建立职责明确合理高效的组织机构，培植安全文化，保证有足够的合格人员，执行质量保证制度，实行安全评价安全验证；做好核事故应急计划和准备。核安全技术原则：核安全的目标是在核设施内建立和维护有效的防御辐射危害的措施以保护人员、社会和环境免受损害。这种有效防御的技术基础就是纵深防御原则，核设施的设计和运行必须具有多重屏障和多层保护以防止放射性物质的外泄，并保证可能导致严重放射性后果的失效或综合失效的发生概率极低，万一事故发生其后果可得到缓解。

（撰写：董柏年　审订：潘自强）

he anquan jishu biaozhun guifan

核安全技术标准／规范 nuclear safety technical standards/codes　由国家技术管理机构、工业部门行业协会或学会制定，属于国家技术标准／规范体系，按国家标准和分类办法执行。与核安全直接有关的技术标准／规范，需报国家核安全监管机构审查并备案。

（撰写：任常平　审订：张　健）

he anquan jishu yuanze

核安全技术原则 technical principles for nuclear safety　为保证达到核安全目标，在技术上必须遵循的总的指导原则。这些原则是在三里岛和切尔诺贝利事故后，反映了国际上对核安全的一些行之有效的共同概念。这些原则已贯彻于包括我国在内的各国核安全法规中。这些技术原则是：(1)纵深防御概念必须贯彻于安全有关的全部活动，包括与组织、人员行为或设计有关方面，以保证这些活动均置于重叠措施的防御之下。(2)核设施必须采用经工程实践和(或)试验验证了的技术。(3)厂区人员的辐射照射和放射性物质向环境的释放都必须遵循合理可行尽量低的原则。(4)所有承担核安全重要任务的组织必须制定和执行适当的、贯彻于整个核设施寿期(从选址、设计，直至退役)的质量保证大纲。(5)人机关系和人的因素必须在所有阶段的设计以及运行要求中予以系统地考虑。(6)必须保证运行经验与安全有关研究结果的交流、审评和分析，并吸取教训和采取必要的行动。

（撰写：俞尔俊　审订：董柏年）

he anquan jiandu guanli

核安全监督管理 nuclear safety regulation　为保证核设施和核活动安全实施的国家监督，包括核安全立法、建立核安全监管机构，实行核安全许可证制度和营运单位的安全责任制度等。核设施包容了大量的放射性物质，一旦发生事故可能造成对人员、公众和环境巨大的辐射危害，因此必须由国家实行严格的监管。核安全立法：政府必须负责建立一个核安全法律框架以奠定监管的法律基础。核安全监管机构：政府必须依法建立一个核安全监督管理机构，这个机构必须独立于负责核能发展的组织，并代表政府实施核安全监管职责。核安全许可证制度：核安全监管机构通过审批管理核安全许可证具体实施对核设施和核活动的监督和管理。营运组织的安全责任：立法必须明确规定核设施的安全责任由核设施营运组织（许可者、申请者或持有者）承担。

（撰写：张　健　审订：任常平）

he anquan jianguan jigou

核安全监管机构 nuclear safety regulatory body　根据国家法律或政府政令所成立的负责对核设施和核活动的安全实行监督管理的机构。作为国家核安全监管机构，一般应至少具有以下三个特征：(1)是国家或政府授权的机构；(2)对所监管的核设施、核活动独立行使监管权，这种监管权通过制定法规、实施核安全许可证制度以及实施核安全监督(检查与执法)来体现；(3)不直接参与和负责核设施或核活动的设计、制造、建造、运行和经营活动。各国实践表明，建立独立于核设施和核活动营运单位及其主管部门的核安全监管机构并使之有效行使职权，是确保核安全、促进核能工业健康发展的保证。

（撰写：张　健　审订：任常平）

he anquan jiancha

核安全检查 nuclear safety inspection　国家核安全监管机构、地区监督站、核安全检查组、核安全监督员或受委托人员对营运单位及有关单位的物项与活动所进行的核实和监视。

核安全检查的目的是核实和监视营运单位及有关单位的核设施物项和活动是否满足核安全管理要求和许可证规定的条件，督促营运单位和有关单位及时纠正缺陷和异常状态，以确保核设施选址、设计、建造、调试、运行和退役或其他核活动符合批准的文件和有关要求。核安全检查可以分为日常的、例行的和非例行（特殊）的检查三种。日常核安全检查是现场核安全监督员所作的检查。例行核安全检查是核安全检查组或核安全监督员根据国家核安全监管机构制定的检查大纲，对营运单位和有关单位在核设施选址、设计、建造、调试、运行、退役各阶段的安全重要活动所进行的有计划的核安全检查。非例行核安全检查是国家核安全监管机构或地方监督站根据工作需要进行的检查。是对意外的、非计划的或异常的情况或事件的响应。核安全检查组或核安全监督员在检查工作结束后以规定的格式写出检查报告，主要包括检查项目、经过、结果、评价以及对应采取的强制性措施或修改许可证规定条件的建议等内容。检查报告经国家核安全监管机构或地方监督站批准后通报营运单位及有关单位，并要求采取相应纠正措施。（撰写：张 健 审订：任常平）

he anquan mubiao

核安全目标 nuclear safety goals 对核工业期望并力求达到的安全水平。制定和贯彻安全目标是国家对核安全监督管理的重要部分。它与相应的核安全政策、法规、标准体系、许可证制度以及检查、执法等措施共同保证核设施和核活动的安全。核安全目标可以是定性的，也可以是定量的；可用于全国性的核安全监督管理，也可以用于具体核设施（核电厂）的安全管理。

定性核安全目标：在国际上已达成较广泛的共识；通常分为总的安全目标，辐射防护目标和技术安全目标。

总的安全目标：在核设施内建立和维持有效的、防御辐射危害的措施以保护人员、公众和环境使之免受损害。

辐射防护目标：确保在所有的运行状态下，在核设施内，以及任何从核设施有计划排放的放射性物质引起的辐射照射低于规定限值，并保持合理可行尽量低的水平，还要确保任何事故的放射性后果的缓解。

技术安全目标：采取所有合理可行的措施以防止核设施的事故，以及缓解其万一发生时的后果；确保在核设施的设计中，所有可能的事故，包括那些概率很低，其放射性后果也可能很小并低于规定限值的事故都已得到考虑；确保发生具有严重放射性后果的事故的可能性极低。

定量核安全目标：国际上从20世纪80年代起已开始定量目标的研究，但因数据、技术和经验的不足，以及定量过程的局限性和不确定性，定量目标普遍仅视作为整体的追求目标，而不用作具体设计或审批中的法定要求。

（撰写：董柏年 审订：潘自强）

he anquan qiangzhixing mingling

核安全强制性命令 nuclear safety compulsory order 为贯彻核安全管理要求，国家核安全监管机构依法发布的命令核设施营运单位或其他有关单位采取措施消除有关核设施、核活动中的不安全因素的书面文件。根据问题性质及情节，国家核安全监管机构发布的强制性命令有以下几种不同情况：(1) 在核设施选址、设计、建造、调试、运行和退役过程中或其他核活动过程中对轻微违反核安全管理要求或许可证规定条件，对不报或谎报事实真相，对无故拒绝核安全检查，对无照上岗操作，国家核安全监管机构将向营运单位及其他有关单位发出警告并要求限期采取纠正措施。(2) 在核设施选址、设计、建造、调试、运行和退役过程中或其他核活动过程中，对严重违反核安全管理要求或许可证规定条件的营运单位或其他有关单位，国家核安全监管机构可责令限期改进或停业整顿；对调试、运行和退役过程中或其他核活动中可能使现场工作人员和公众面临放射性危害，或者核设施与核安全有关的重要物项严重损坏无法修复，国家核安全监管机构可责令停业整顿或停工；对未经批准从事核设施建造、运行、迁移、转让和退役以及其他需监管的核活动的营运单位及有关单位，国家核安全监管机构可责令其停工。(3) 对拒绝执行强制性命令或严重违章操作致使核设施损坏、功能失常造成长期不合格或严重不合格，或发生对现场工作人员、公众和环境造成不适当的辐射危害和工业危害的，国家核安全监管机构可中止或吊销营运单位或其他有关单位的核安全许可证件。核设施或核活动的营运单位或其他有关单位有权拒绝有害于安全的任何要求，但对国家核安全监管机构发布的强制性命令中所规定的强制性措施必须执行。当事人对国家核安全监管机构的处罚不服的，可在限定时限内起诉，但是，吊销核安全许可证件的决定立即生效。对处罚决定不履行逾期又不起诉的，国家核安全监管机构将申请法院强制执行。

（撰写：张 健 审订：任常平）

H

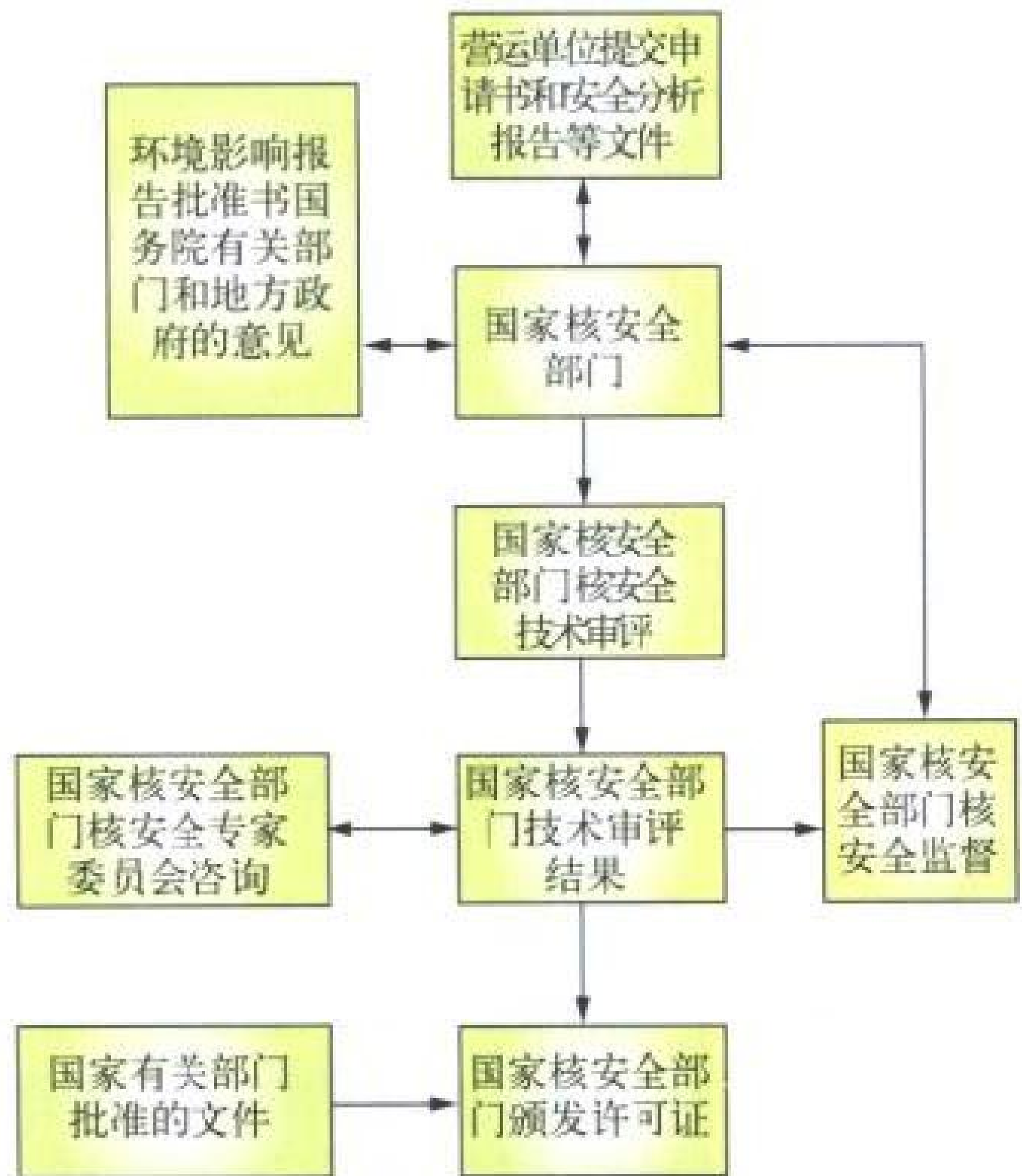
he anquan xukezheng chiyouzhe

核安全许可证持有者 nuclear safety licensee 依据国家核安全法规要求，为取得从事某种特定的核活动的资格向国家核安全监管机构申请并被授予相应核安全许可证的单位或个人。只有核安全许可证持有者才允许从事许可证所限定的核活动。核安全许可证持有者包括以下几类单位和个人：(1) 经营和运行核设施的单位，即核设施的营运单位。他们随工作的进展需陆续申请及持有核设施厂（场）址选择审查意见书、建造许可证、首次装料批准书、运行许可证、退役批准书等核安全证件。他们对所建设及营运的核设施的安全、核材料的安全、工作人员、公众及环境安全承担全面责任；(2) 持有、使用、生产、贮存、运输和处置核材料的部门和单位，他们将申请及持有与上述活动相应的核材料许可证，并对所涉及的核材料负全面安全责任直至核材料安全责任合法转移为止；(3)从事核承压设备的设计、制造或安装的单位须申请和持有核承压设备设计资格许可证、制造资格许可证或安装资格许可证，并对其承担的活动负相应核安全责任；(4) 持有核设施操纵员执照或核设施高级操纵员执照的个人。只有持“操纵员执照”的人方可担任操纵核设施控制系统的工作，只有持“高级操纵员执照”的人方可担任操纵或指导他人操纵核设施控制系统的工作。（撰写：张 健 审订：任常平）

he anquan xukezheng shenqing he shenpi chengxu

核安全许可证申请和审批程序 application and review procedure of nuclear safety licenses 由国家核安全法规所确定的申请核安全许可证件时所需履行的手续、审批过程与要求以及许可证发放与管理的步骤。核安全法规中规定了申请各种核安全许可证时所需提交的文件清单、提交时间要求，同时也明确了国家核安全监管机构对申请文件进行审评的目的、依据及审评重点。国家核安全监管机构在对技术文件进行审评的同时，也将充分了解国家其他有关部门及地方政府的意见，并且重视核安全监督经验的反馈。对一些论述不明确或

有不同意见的问题，一般采取书面提问和回答的方式，允许申请者补充说明或提交更详尽的技术支持文件。对一些核安全关键技术，核安全监管机构也广泛采用独立验证的方式，以确保核安全。对一些重大核安全问题，国家核安全监管机构在给出审评结论前，往往还要听取核安全专家委员会的咨询意见。我国核电厂安全许可证件的申请和颁发程序如图所示。其他核设施的安全许可证、核材料许可证以及核承压设备设计、制造、安装资格许可证的申请和审批程序和核电厂安全许可证的申请和审批程序大体相似。当然由于设施性质、容量等方面的差别，所要求提交的技术文件种类、数量、提交时间等方面可能会有些差别。



我国核电厂安全许可证件的申请和颁发程序

核设施“操纵员执照”和“高级操纵员执照”的申请者由核设施主管部门或其委托的单位负责考核，由国家核安全监管机构负责监督、核准并颁发相应执照。核设施操纵人员执照的考核标准由核设施主管部门或其委托的单位制定，报国家核安全监管机构核准。（撰写：张 健　审订：任常平）

he anquan xukezheng shenqingzhe

核安全许可证申请者 nuclear safety licence applicant 根据核安全法规要求，为取得进行某种特定核活动资格而向国家核安全监管机构申请相应核安全许可证的单位或个人。申请核安全许可证的单位有以下三种情况：(1) 从事核设施的厂(场) 址选择、建造、调试、运行和退役的单位；(2) 持有、使用、生产、贮存、运输和处置国家核安全法规规定需管制的核材料的单位；(3) 从事核承压设备的设计、制造或安装工作的单位。申请核安全许可证的个人则是指申请核设施操纵员执照或核设施高级操纵员执照的个人。

（撰写：张 健　审订：任常平）

he anquan xukezheng zhidu

核安全许可证制度 nuclear safety licensing system 国家核安全监管机构对某些特定的核设施、核活动、核材料通过颁发许可证的办法实行核安全监控的制度。我国与民用核设施相关的核安全许可证有四大类：(1) 核设施许可证件，即对核电厂、研究性反应堆、核燃料循环设施、放射性废物的处理和处置设施及其他需要严格监督管理的核设施颁发的核安全许可证件，包括厂（场）址选择安全审查意见书、建造许可证、首次装料批准书、运行许可证、退役批准书等。(2) 核承压设备活动资格许可证。即对从事核承压设备的设计、制造、安装等活动的单位所颁发的核安全许可证件。(3) 核材料许可证。对持有、使用、生产、贮存、运输和处置核材料（指含 ^{235}U, ^{233}U, ^{239}Pu, ^{3}H, ^{6}Li 或其他需要管制的核材料或其制品）的部门和单位所颁发的与其从事活动相适应的核安全许可证件。(4) 核设施操纵员执照、核设施高级操纵员执照。国家核安全监管机构负责核安全许可证件的申请受理、审查和颁发，同时也负责对核安全许可证条件遵守情况的监督，必要时，可以依法中止或吊销核安全许可证件。



各种许可证件

（撰写：张 健　审订：任常平）

he anquan zeren

核安全责任 safety responsibility 核设施发生事故时应承担的责任。核设施营运组织依法对所营运的核设施承担首要的安全责任。营运组织可以将各方面或各阶段的工作任务分配或委托给其他组织，但在任何情况下不因此减轻其应负的安全责任。（撰写：董柏年　审订：潘自强）

he anquan zhifa

核安全执法 nuclear safety enforcement 国家核安全监管机构在依法执行核安全检查过程中或检查后，对核设施、核活动营运单位或其他有关单位违反核安全管理要求和许可证条件的行为做出的处理、处罚或强制性命令，包括责令立即停止危及核安全的活动、警告、罚款、限期改进、停工或者停业整顿直至中止或吊销核安全许可证件。国家核安全监管机构的执法通知以书面文件方式通知营运单位或有关单位。现场核安全监督员有权要求营运单位或有关单位停止明显违反核安全管理要求和许可证条件的行为以及紧急危及核安全的活动，并必须立即报国家核安全监管机构或地方监督站书面追认核准。（撰写：张 健　审订：任常平）

hebanjing

核半径 nuclear radius 表征原子核内核子分布的边界。核内核子的分布在中央部分密度很高且近似为一常量 ρ_0，然后经过边界厚度 t，迅速衰减到零。通常核半径定义为均方根半径 $\langle r^2\rangle^{1/2}$

$$\langle r^2\rangle^{1/2}=\left[\frac{\int r^2\rho(r)\mathrm{d}r}{\int \rho(r)\mathrm{d}r}\right]^{1/2}$$

式中 $\rho(r)$ 为核电荷或核物质的密度。核电荷密度即质子分布密度；核物质密度为核子（中子和质子）分布密度。高能电子散射实验测得一些核的电荷分布 $\rho(r)$ 可近似地用二参量费密分布函数表示

$$\rho(r)=\frac{\rho_0}{1+\exp\left(\frac{r-c}{a}\right)}$$

式中 ρ_0 为常量；c 和 a 为两个参量，c 为半密度半径，a 为核边界弥散程度。通常定义密度从 0.9 ρ_0 降至 0.1 ρ_0 的距离为边界厚度 t，约为 2~3 fm。知道 $\rho(r)$ 后即可求得 $\langle r^2\rangle^{1/2}$ 值。核半径可利用高能电子、高能α、质子、π介子以及中子散

射测量。大量实验结果指出 $\langle r^2 \rangle^{1/2}$ 和等效均匀半径 R 近似与 $A^{1/3}$ 呈正比，常表示为 $R = r_0 A^{1/3}$。r_0 为核半径参数，对中子散射结果，$r_0 \approx 1.37$ fm；对高能电子散射，$r_0 \approx 1.12$ fm；对 α 粒子、质子散射，$r_0 \approx 1.20$ fm。可见，中子分布半径稍大于质子分布半径。 （撰写：夏宗璜 审订：叶沿林）

hebaozhang

核保障 safeguards 根据《国际原子能机构规约》、《不扩散核武器条约》和《拉丁美洲禁止核武器条约》(特拉特洛尔科条约) 等的规定，授权国际原子能机构建立的一种用于和平利用核能的核实系统。按照《国际原子能机构规约》的规定，这个系统的职能是："建立并执行核保障，以确保由机构本身，或经其请求，或在其监督或管制下提供的特种可裂变材料及其他材料、服务、设备、设施和情报，不致用于推进任何军事目的。"规约还授权国际原子能机构"应当事各方请求，将核保障应用于任何双边或多边协定，或应一国的请求，对该国在原子能方面的任何活动实施保障措施"。国际原子能机构按照与某些国家或国家集团签订的保障协定实施核保障。

（撰写：刘大鸣 审订：严叔衡）

hebaozhang de mianchu

核保障的免除 exemption from safeguards 按照INFCIRC/66 和 INFCIRC/153 的核保障协定的规定，当核材料的数量在任何时候都不超过下列规定时，可以免除核保障：(1) 总量为1kg 的特种核材料，它可由下述一种或数种组成：①钚；② ^{235}U 丰度不小于 20% 的铀，以其质量乘其丰度计；③ ^{235}U 丰度低于 20% 但大于天然铀丰度的铀，以其质量乘其丰度的平方的 5 倍计；(2) 总量为 10 t 的天然铀和 ^{235}U 丰度大于 0.5% 的贫化铀；(3) 总量为 20 t 的 ^{235}U 丰度不大于 0.5% 的贫化铀；(4)总量为 20 t 的钍。INFCIRC/153 的核保障协定还规定下列核材料应免除保障：(1) 用作仪器敏感元件的不大于克量的特种可裂变材料；(2) 用于非核活动但可回收的核材料；(3) ^{238}Pu 同位素丰度大于 80% 的钚。

（撰写：刘大鸣 审订：金恵民）

hebaozhang de qidian

核保障的起点 starting point of safeguards 在一个核燃料循环中根据 INFCIRC/153 的核保障协定实施全面核保障程序的起始点。其具体的起点为：(1) 其组成和纯度适于燃料制备或进行同位素富集的任何核材料当其离开生产它的工厂或加工阶段时；(2) 上述核材料或在核燃料循环的较后阶段产生的任何其他核材料运抵一个国家时。

（撰写：刘大鸣 审订：李 泽）

hebaozhang de zhongzhi

核保障的终止 termination of safeguards 按照INFCIRC/66 和 INFCIRC/153 的核保障协定的规定，当符合如下条件之一时，可以终止实施核保障：(1) 一个国家对核材料 (包括由它产生的后代核材料) 的保障通常一直持续到这些材料被运到另一个国家，且后者已承担了必要的核保障责任；(2) 按协定受保障的核材料已经被消耗掉，或者已经被稀释到不可再用于任何有关核活动的程度，或实际上已不可回收；(3) 把按协定受保障的核材料用于非核活动，或用不受保障的核材料代替被保障的核材料。

（撰写：刘大鸣 审订：李 泽）

hebaozhang tebie shicha

核保障特别视察 Ad hoc inspection for safeguards 按照国际原子能机构文件 INFCIRC/153 的第 71 段的规定，机构进行特别视察，其目的是：(1) 核实初始报告中关于在协定范围内受保障的核材料的信息的正确性；(2) 查明并核实自初始报告以来所发生的情况变化；(3) 核材料在运出国外或运进当事国之前要进行鉴定，如果可能的话，还要核实其数量和组成。 （撰写：程微微 审订：李 泽）

hebaozhang xianchang shicha

核保障现场视察 on-site inspection for safeguards 国际原子能机构为了核实受保障的核材料的使用是否符合核保障协定的规定，在现场进行的一系列活动。视察活动可以包括：为了确保设计资料的完整性和正确性以及有效地实施核保障而对设计资料的审查；对核材料记录的检查并与当事国上报机构的相应报告书作比较；对存量和物流的核实；封隔和监视装置的安装和运行。视察包括初始视察、特别视察、例行视察和专门视察等。 （撰写：程微微 审订：李 泽）

hebaozhang xieding

《核保障协定》 Safeguards Agreement 国际原子能机构同一个或几个国家之间为了实施核保障而签订的一种协定。它以《国际原子能机构规约》、《不扩散核武器条约》、《特拉特洛尔科条约》和各种双边合作协定的规定为基础，并以核保障文件 INFCIRC/66/Rev.2、视察员文件 GC(V) INF/39 以及结构和内容文件INFCIRC/153 (Corrected) 为依据，分为下述三类核保障协定：INFCIRC/66 的核保障协定，INFCIRC/153 的核保障协定和自愿提交核保障协定。

（撰写：程微微 审订：李 泽）

hebaozhang xieding de fujia yidingshu fanben

核保障协定的附加议定书范本 model protocol additional to safeguards agreement 1997 年 5 月国际原子能机构理事会批准的核保障协定的附加议定书范本，作为文件INFCIRC/540 出版，其目的是加强核保障体系的有效性和提高核保障体系的效率。国际原子能机构理事会要求总干事用该议定书范本作为与国际原子能机构缔结有全面核保障协定的国家和其他缔约方同国际原子能机构缔结附加议定书的标准，此类议定书应包含该议定书范本中的所有措施；国际原子能机构理事会也要求总干事同核武器国家谈判附加议定书或其他有法律约束力的协定，这些文书中要列入该议定书范本中规定的那些由每个核武器国家认定对该国实施时能促进实现议定书的不扩散和效率目标的并符合该国根据不扩散核武器条约第 I 条所承担义务的措施。 （撰写：程微微 审订：李 泽）

hebaozhang zhuanmen shicha

核保障专门视察 special inspection for safeguards 按照国际原子能机构文件INFCIRC/153 第73段的规定，如果出现下列情况之一，机构可以进行专门视察：(1) 核实专门报告中的资料；(2) 如果机构认为，当事国提供的资料包括当事国的解释和例行视察所获得的资料还不满足机构履行其协定规定的职责的要求。按照文件 INFCIRC/66 第 53 段和第 54 段的规定，如果出现下列情况之一，机构可以进行专门视察：(1) 对某个报告的研究表明需要进行这种视察；(2) 若有意外情况，需要立即采取措施。每次专门视察的原因和结果应该报告理事会。

机构还要对受保障的、且将要被转移到国外的核材料进行专门视察，为此，当事国必须将这种转移预先通知机构。

（撰写：程微微　审订：李　泽）

hebao fangshexing zhanran fanghu

核爆放射性沾染防护　protection against nuclear explosion radioactive contamination　对地面、水（海）域、空域和武器装备与人体表面等造成的核爆放射性沾染所采取的防护措施。当敌人实施核袭击后，应组织地面、舰艇、航空、海区辐射侦察与辐射监测，查明沾染范围和周围吸收剂量率（$\dot{D}^*(10)$）分布情况，避开在沾染区尤其在高 $\dot{D}^*(10)$ 地区（含空、海域）行动，缩短在沾染区的时间并监测、控制人员的通过剂量与停留剂量使之不超过规定的限值，及时使用个人防护器材和防御工事进行内、外照射的防护。应组织沾染检查，判明人员、武器装备、水源以及食物等遭受放射性沾染的情况。对受放射性沾染的人员、武器装备进行洗消，饮水进行沉淀、过滤，食物进行处理。沾染消除后，应进行沾染测量（检查），残留的放射性物质应低于战时放射性沾染控制水平。

（撰写：黄旦群　审订：毛用泽）

hebao fangshexing zhanran jiance

核爆放射性沾染监测　nuclear explosion radioactive contamination monitoring　对核爆炸产生的裂变产物、感生放射性物质和剩余的核材料等对地面、水域、空域、空气和武器装备与人体表面等造成的沾染进行测量并对因放射性沾染造成人员的内、外照射剂量与可能引起的放射性损伤进行评估。通常用辐射仪对地面、水域、空域的核爆放射性沾染的γ辐射水平进行测量，测量结果主要用于划分地区（水域、空域）沾染轻重等级，估算通过或停留在沾染区时遭受的外照射剂量，建议应采取的行动路线。对空气、水源的放射性沾染，取样后用放射性沾染测量仪进行测量。对武器装备与人员等表面的放射性沾染用辐射仪测量。当沾染测量结果表明超过控制水平时，应提出进行放射性沾染消除的建议。

（撰写：张宏濂　审订：毛用泽）

hebao fangshexing zhanran xiaochu

核爆放射性沾染消除　decontamination after nuclear explosion　从人员、武器装备、服装装具、水、食物以及地面、工事和其他沾染物体上消除核爆放射性沾染，降低放射性沾染程度的技术措施。消除沾染分为局部和全部两种：局部消除是人员利用战斗间隙对自身及所用装备等进行消除；全部消除是在战斗结束或撤出战斗后，对受沾对象的全面消除，可由受染分队本身组织实施，也可由专业洗消分队实施。消除沾染的方法：人员、武器装备、服装装具可用水洗、扫除、擦拭法，服装还可以用拍打、抖拂法，道路可用水冲、扫除法，对大型兵器和装甲车辆可用燃气射流洗消车洗消（见图）。对于精密仪器装备表面沾染的消除，主要采用非水洗消技术。粮食可用水洗、过筛法等，饮水可用沉淀、过滤、蒸馏，也可用离子交换树脂处理。消除沾染后，应进行沾染检查，残留的放射性物质应低于战时放射性沾染控制水平。现代放射性沾染消除（去污）已发展为清除（Clean up），后者包括去污、污染物的固定与隔离，还包括对清除过程产生的废物的处置与运出。

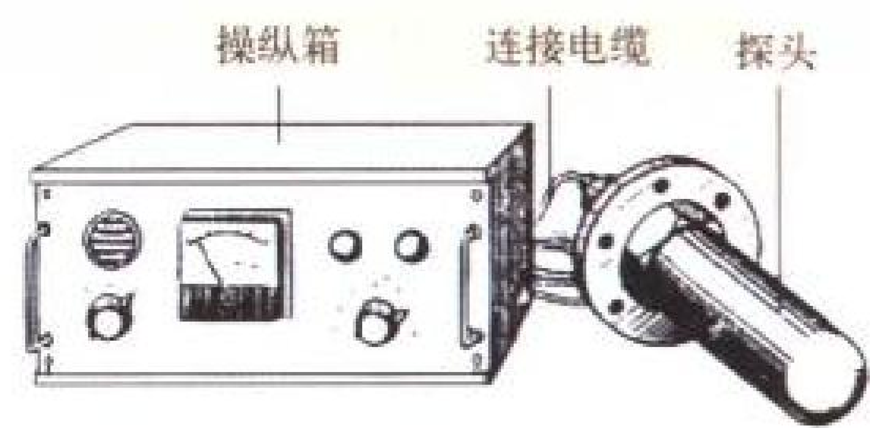


我国 FRCOI 型燃气射流洗消车

（撰写：张宏濂　审订：毛用泽）

hebao γ shexian baojingqi

核爆γ射线报警器　γ-ray alarm meter of nuclear explosion　监测γ辐射水平的核辐射监测装备。用于测量早期核辐射中的γ辐射以发现核爆，或通过剩余核辐射（γ辐射）的测量发现与监视放射性烟云到达和沉降过程，并记录地面γ辐射周围吸收剂量率 $\dot{D}^*(10)$。同时，还可用于控制工事集体防护设备的工作。仪器通常由探头、连接电缆和操纵箱这几部分组成（见图）。探头固定在工事外部，操纵箱放置在工事头部的三防值班室内，并与联动装置相接。当探头所处位置的γ辐射 $\dot{D}^*(10)$ 达到仪器报警阈值时，仪器立即报警，发出声、光报警信号，同时送出一个控制信号给联动装置，对工事的集体防护设施进行自动控制；仪器还能测量工事外表探头所在位置的γ辐射 $\dot{D}^*(10)$。



γ射线报警器

（撰写：王立银　审订：毛用泽）

hebaojili dingxiangneng wuqi

核爆激励定向能武器　directed weapon driven by nuclear explosion　见第三代核武器。

hebaojili gaogonglü weibo wuqi

核爆激励高功率微波武器　high power microwave weapon driven by a nuclear explosion　又称核电磁脉冲弹。以高功率微波毁坏敌方通信系统或武器中的电子部、器件等的一种特殊设计的核武器。它是尚处在研究阶段的第三代核武器的一种。对这种武器的基本要求是：(1) 电磁脉冲的场强应该比普通氢弹高得多，以增大破坏距离；(2) 电磁脉冲频谱中的主频比普通氢弹要高，主频要求在 10^{10}～10^{11}Hz 范围，即波长在厘米至毫米的微波段，以增大通过有金属覆盖的目标的缝隙等耦合进入其内部的电磁脉冲能量份额；(3) 希望电磁脉冲能尽量定向发射，以减少对己方与友方的附带损伤。由于高功率微波武器与普通氢弹的以上三点不同，可见核爆激励高功率微波武器是一种需要特殊设计的核武器。核爆激励高功率微波武器可作为发起进攻时的第一次对敌打击之用，它能使敌方的武器系统和现代化的军用和民用电力基础设施失灵，但不造成人员伤亡。

（撰写：陈乐山　修订：郑绍唐　审订：徐适新）

hebaojili X shexian jiguangqi

核爆激励 X 射线激光器　X-ray laser pumped by nuclear explosion　用核爆炸产生的 X 射线激励激光工作物质产生 X 射线激光以摧毁远距离目标的一种武器。它是第三代核武

器的一种。核爆炸激励X射线激光系统主要由4个部分组成：(1)泵浦源：是一种特殊设计的氢弹，爆炸时放出大量X射线，使激光工作物质电离成为高温等离子体，并将其中的原子从低能态抽运到高能态，造成粒子占据数反转，这时工作物质就成为受激辐射放大介质。(2)激光棒：即产生激光的工作物质，一般是细长的中等原子序数材料制成的金属棒。其作用是将核爆产生的向各个方向发射的、非相干的、连续光谱的X射线转变成方向性好、相干的、单能的、高辐射亮度的X射线激光，即将核爆炸能量转换成了定向能，武器的作用距离也就从几千米扩展到了几千千米。这种激光是在等离子体介质中产生的等离子体激光。产生X射线激光的机制可以有多种。(3)聚焦系统：其作用是缩小X射线激光束的发散角，从而扩展武器的作用距离。因为从激光棒出来的X射线激光强度很大，任何物体在它的作用下都将成为等离子体，所以聚焦透镜也叫等离子体透镜。(4)跟踪瞄准系统：其作用是将由一个核爆炸抽运的多个激光棒组件同时瞄准多个目标。

核爆激励X射线激光武器的优点是摧毁距离大；它体积小、重量轻、机动性强，因此生存能力强；作为防御武器可同时摧毁多个导弹，作为突防手段可同时摧毁一大批敌方天基防御监视系统、卫星系统和扫除轻质诱饵。20世纪80年代，它是美国战略防御倡议(SDI)计划中作为定向能武器的一个最具创新意义的研究项目。

研制这种武器的主要科学技术困难是：(1)聚焦系统的设计要求有重要的物理原理突破；(2)从核爆炸能量转换成X射线激光能量的效率很低，一般估计仅为10^{-6}。另外，跟踪瞄准系统也十分复杂，它的研制也是一个非常困难的课题。

（撰写：郑绍唐　审订：徐适新）

hebao kekaodu

核爆可靠度　reliability of nuclear burst　见核武器可靠性。

hebao kongqi quyangqi

核爆空气取样器　air sampler for collecting radioactive material after nuclear explosion　在预定的时间间隔内将通过过滤器的已知体积的空气中所含核爆产生的放射性物质收集在过滤介质上的一种装置。取样器分为高空用和地面用两种。高空取样器通常安装在取样飞机或火箭上，主要对核爆烟云取样。它由进气装置、滤布和外壳组成。高空取样的目的是为测定核烟云中放射性活度与核素放化分析提供样品(滤布)。地面空气取样器(见图)通常置于离地1m高度处，主要对空气中的放射性落下灰取样。它由抽气、过滤装置、控制电路、流量显示仪表等组成。地面空气取样的目的是为环境空气放射性体积活度的测定提供样品(滤布)。



FH-5自动空气取样器

（撰写：张宏濂　审订：毛用泽）

hebao xiaoying moniqi

核爆效应模拟器　nuclear explosive effects simulator　在实验室进行核爆效应模拟的装置。核爆炸主要产生瞬发γ辐射、瞬发中子流、软X射线和聚变产物γ辐射等。这些辐射效应可以在实验室采用高功率电子束加速器进行大致的模拟研究。模拟装置可以是采用高电压、大电流脉冲电子束，在高原子序数靶上进行强γ射线模拟。如图所示为我国建造的电子束模拟装置闪光Ⅰ，其指标为8 MV，100 kA，80 ns。模拟装置也可以是采用低电压、更高流强的电子束通过Z箍缩放电，产生高温内爆等离子体，进行软X射线模拟。如我国建造的闪光Ⅱ装置。



我国建造的电子束模拟装置闪光Ⅰ

模拟装置的优点是，费用低、可反复实验、主要参数易于控制。其局限性是模拟空间尺寸小，不能获得核爆的综合效应。

（撰写：刘锡三　审订：关遐令）

hebaozha chansheng de fangshexing hesu

核爆炸产生的放射性核素　radioactive nuclide from nuclear explosion　核爆炸裂变过程形成的放射性同位素，和核爆炸中子与各种元素的原子核相互作用感生的放射性同位素。它是诊断核爆炸的重要依据之一，也是核爆炸放射性沾染的主要来源。

由于裂变时原子核大约以40种方式分裂，因而产生约80种不同的裂变碎片。发射瞬发中子后的裂变碎片绝大部分是放射性同位素，发射β粒子和γ射线，其后形成另一种称为“衰变产物”的元素。通常衰变产物也是放射性的，并同样以发射β粒子和γ射线继续衰变，直至达到稳定的状态。因此，裂变产物实际上是许多元素的同位素的混合物。

核爆炸中子与物质相互作用引起的感生放射性核素，同样以发射β粒子和γ射线衰变。它们的放射性强度和衰变速率，取决于中子注量和物质的化学成分等。

放射性同位素的放射化学分析，可以提供核武器爆炸过程的信息。通常可以选取核爆炸中生成量较多，半衰期适中且发射γ射线的放射性核素，作为核爆炸的诊断核素。

（撰写：朱焕金　审订：乔登江）

hebaozha chengkeng xiaoying

核爆炸成坑效应　cratering of nuclear burst　地面和浅层地下核爆炸在爆心投影点区域造成的弹坑。核爆炸产生的高温、高压气团及冲击波对地表岩石(土壤)介质的冲击破坏、剥离破坏以及对破碎岩石的抛掷作用，使得爆心地表投影点形成弹坑。最后，被抛掷的碎石回降，一部分回到坑内，大部分堆积在坑边和抛出坑外形成碎石唇缘和碎石散布带，形成表观弹坑(见图)。弹坑的深度、直径与爆炸威力、爆炸深度、岩石介质性质及其含水量有关。一般说来，同样爆炸条件，软岩石(如土壤)、含水量大的介质中形成弹坑的尺度要大于硬岩、干燥介质中坑的尺度。成坑过程中伴随有强烈的地下冲击波和地震波，能摧毁地面或地下坚固工事，同时在爆炸地

域和下风方向云迹地带造成严重的放射性沾染。



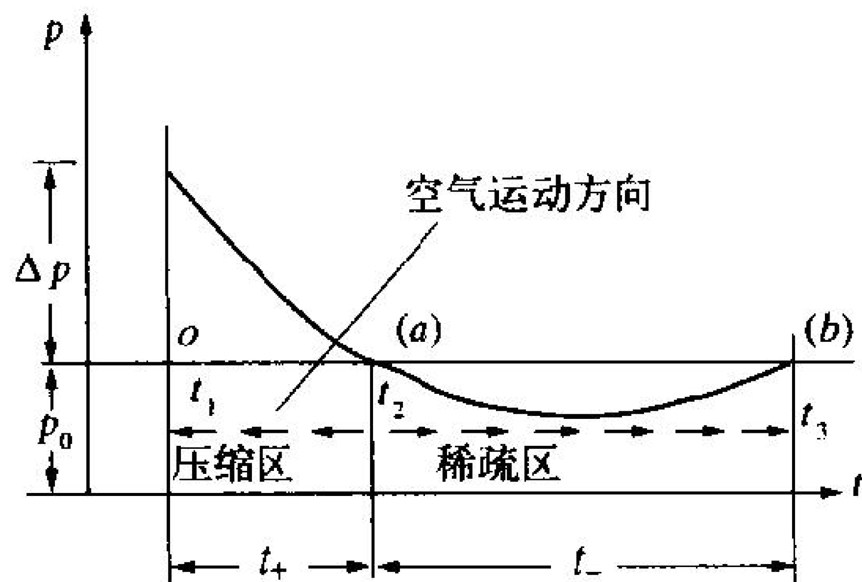
触地核爆炸的弹坑

图出处：国防科学技术工业委员会科学技术部.中国军事百科全书.核武器分册.北京：军事科学出版社，1990.101

（撰写：乔登江　审订：吕　敏）

hebaozha chongjibo

核爆炸冲击波　nuclear explosion shock wave　核爆炸形成的高温、高压火球猛烈地膨胀时，急剧地压缩周围介质（空气），形成的压缩区和稀疏区构成的强冲击波（见图）。冲击波是大气层核爆炸的主要毁伤因素之一，约占核爆炸总能量的50 %，冲击波在以超声速向四周传播过程中，随着距离的增大，传播速度变慢，压力降低，最后变为声波。当冲击波阵面传播到某点时，该点空气的压力瞬间增大到波阵面上的最大压力，同时空气以很大的速度随波阵面前进。然后，该点的压力随压缩区通过而不断减小，空气速度也不断减小；稀疏区通过该点时，空气通过该点转向爆心运动，在稀疏区后界上，它的速度接近于零。在冲击波压缩区内超过波前大气的压力称为超压，空气运动产生的冲击压力称为动压，超压和动压都以帕（Pa）为单位。在稀疏区内，压力低于波前大气压的部分称为负压。超压在该点的持续时间称为正压作用时间。空中核爆炸产生的冲击波，先在空气中传播，尔后在遇到地面时反射，使超压增大，并且地形、地物也影响冲击波传播。



在空间固定点上冲击波压力、空气运动方向随时间变化的情况

图出处：国防科学技术工业委员会科学技术部.中国军事百科全书.核武器分册.北京：军事科学出版社，1990.77

（撰写：乔登江　审订：吕　敏）

hebaozha chongjibo fanghu

核爆炸冲击波防护　protection against shock wave of nuclear explosion　避免或减轻人员、武器装备等遭受核爆炸冲击波毁伤的防护措施。(1) 尽量避开冲击波的直接冲击和间接毁伤。利用天然地形或掩蔽地，构筑工事和各类掩蔽部进行掩蔽，是防止冲击波毁伤的主要和有效的防护措施。当发现核爆炸闪光时，如在二三步内无合适的掩蔽地，应立即背向爆心卧倒。(2) 分散配置。冲击波的实际毁伤效果，不仅取决于核武器威力，还与核爆炸区域内人员、武器装备配置的密度有关。故核条件下作战，必须适当分散配置。合适的分散程度应在保障部队有效战斗力的前提下，分析敌人可能使用的核武器种类和威力，结合当前战斗任务、机动能力、地形特点等全面考虑后决定。(3) 提高武器、技术装备、工事、建筑物对冲击波的抗力。(4) 在森林地、城市居民地应组织力量，消除冲击波造成的道路堵塞，为抢救伤员、灭火创造条件。

（撰写：王　坚　审订：毛用泽）

hebaozha cisheng tance

核爆炸次声探测　infrasound detection of nuclear explosion　利用爆炸产生的次声波探测核爆炸（见图）。大气层核爆炸产生强大的冲击波，其中频率较低的部分（低于 20 Hz）称次声波，在大气中传播时衰减较慢，到几千千米以外尚可以探测，



核爆炸次声探测

图出处：http://www.ctbf.rnd.doe.gov/ctbf/reports/progress report/tm poster 2

高灵敏的次声波探测器可以探测到 3000 km 以外的千吨 TNT 当量级核爆炸。“全面禁止核试验条约”规定在全球建立 60 个次声波台站网。次声波探测站布置多个拾音器，分布在不同位置，经过对不同拾音器信号的数据处理可以降低本底，并且得到次声波到来的方向。（撰写：吕　敏　审订：周佩珍）

hebaozha de changqi shengwu xiaoying

核爆炸的长期生物效应　long-term biological effects of nuclear explosion　核爆炸产生的各种杀伤破坏因素对生物体的长期损伤作用和效果。它包括瞬时杀伤破坏效应所导致的长期潜在的伤害因素，以及长期起伤害作用的全球放射性沾染。其效应既可以是对机体的长期损伤，也可以是对人们心理的长期影响和社会效应。核爆炸的核辐射效应，有些在多年后才会出现。其中除了遗传效应外，还会引起诸如白血病和各类肿瘤等的致癌效应，以及降低机体免疫功能和引起白内障的非致癌效应。放射性沾染效应中的长半衰期放射性核素，例如 ^{137}Cs，^{90}Sr 和 ^{239}Pu 等，都能通过空气、水或食物进入人体，沉积于骨髓中和留存于肺中成为辐射源，长期危害人的机体。人们对大量的核爆炸可能对全球气候的影响，以及对核大战是否会造成核冬天的关注，从另一个侧面反映了核爆炸对人们心理的影响和引起的社会效应。核爆炸长期生物效应涉及面广，加上核辐射诱发疾病的潜伏期较长，因此，核爆炸长期生物效应中，仍有许多需要进一步研究的问题。

（撰写：朱焕金　审订：乔登江）

hebaozha de fushe huanjing

核爆炸的辐射环境 radiation environment of nuclear explosion 核爆炸时形成的一个独特的辐射环境。核辐射中重要的是中子、γ 射线、X 射线和 α,β 粒子。中子和 γ 射线的射程长，对电子系统危害严重。X 射线中含有少量的硬谱，如能量为 40～200 keV 的硬谱，对电子系统也会产生严重影响。α,β 粒子的射程较短，对电子系统的影响可以忽略。原子核释放出来的高能 γ 射线平均能量约为 1 MeV，以光速传播，不带电荷，原子核周围的电场对它不起作用，γ 射线打到原子上能使原子电离。当 γ 剂量率为 10^5～10^6 Gy/s 时，可使一个未加固的带电工作系统失效。高空核爆炸时，瞬时 γ 辐射引起的瞬时损伤在垂直向上方向和水平方向的破坏半径达数百千米；低空核爆炸时，破坏半径为 3～4 km。γ 射线的累积剂量足够大时，也会使电子系统或电子元器件损伤。原子弹爆炸瞬时释放出裂变谱中子，平均能量为 1.3 MeV；氢弹爆炸中的氘氚反应释放出能量为 14 MeV 的中子。100 万吨 TNT 当量的核武器在 100 km 高空爆炸，距离爆心 30 km 处的中子注量达 10^{13} 中子/cm^2，这会使该半径范围内的未加固半导体器件失效；低空核爆炸时，由于空气密度大，半导体失效范围半径缩小为 1 km 左右。中子对电子系统和元器件的损伤主要是位移损伤，它是一种永久性的损伤。

（撰写：倪建平 审订：赖祖武 陈雨生）

hebaozha diqiuwuli xiaoying

核爆炸地球物理效应 geophysical effects of nuclear explosion 核爆炸引起的地球物理现象及其异常变化。主要有人工极光、人工辐射带、电离层效应、地震、地磁扰动和次声波扰动等。高空核爆炸时，由于各种辐射生成的电子在高空地磁场中运动，将会导致下列地球物理效应：(1) 辐射生成电子进入低层大气时与氧和氮分子碰撞激发可见光，即人工极光。不仅在爆点下方，而且在南北半球对称区（称共轭区），可观察到持续时间较长的“极光”。(2) 辐射生成电子被地磁场捕获后，在地球二磁极间来回运动，形成覆盖全球的带电粒子壳层——人工辐射带，同时发生同步辐射和回旋辐射，表现为无线电噪声。(3) 辐射生成电子使电离度增加即电离层效应，它严重影响通过电离层传播的电波，破坏或干扰短波通信。大威力的空中核爆炸时，冲破对流层顶的烟云，其 γ 射线在电离层中产生的附加电离也能引起明显的电离层效应。(4) 辐射生成电子运动使地磁场产生扰动即地磁效应。(5) 冲击波会衰减成次声波沿地球表面大气层传播。当爆高较低时，冲击波拍打地面可激励出在岩土介质中传播的地震波，同时引起电离层振荡干扰通信电波。地下核爆炸可引起地运动，产生更强的地震波。地震信号的测量和分析，是核查地下核爆炸的重要手段之一。

（撰写：乔登江 审订：吕 敏）

hebaozha dizhen tance

核爆炸地震探测 seismic detection of nuclear explosion 利用地震波探测核爆炸。地下核爆炸产生强烈的地震波，地震波沿地球不同的途径传播，成为不同震相的体波、面波、LG 波等，它的频率从百分之几赫兹到几十赫兹。分布在全球各地的地震台站的地震探测器可以记录任何地方发生的地震波。《全面禁止核试验条约》规定把地震探测方法作为监测地下核爆炸的主要手段，要求在全球建立由 50 个主站和 120 个辅助台站组成的地震监测网，主站把地震数据传送到国际数据中心，辅站在国际数据中心索要时提供资料。地震网可以探测全球范围内发生的地震事件，探测的阈值约为千吨TNT当量级，具体数值决定于爆炸点的地理位置和地质条件。由不同台站地震波到达时间的差别，利用事前标定过的“慢度”，可以交会出核爆炸的中心，其可信范围大约在 1000 km^2。根据不同震相的地震波幅度比能够较为有效地分辨天然地震波和核爆炸的地震波。小威力核爆炸和大药量工矿化学爆炸产生的地震波难于区别。

（撰写：吕 敏 审订：周佩珍）

hebaozha duitongxin de yingxiang

核爆炸对通信的影响 effects of nuclear explosion on communication 核爆炸对不同频段的无线电波传播的影响。核爆炸产生的各种辐射可直接或间接引起大气电离，在爆心上方烟云核辐射使 D 层电离层电离增加，无线电波在通过该电离区时，会造成信号的减弱，甚至中断等。此外，核爆炸会引起 F 层电离层大范围的电子数密度的扰动，使电波折射系数发生变化，改变电波的传播路径并产生相移。影响的范围随爆炸高度、爆炸威力的增加而增大。例如美国 1958 年百万吨级 77 km 高度的“麻栗树”试验，爆后在爆点周围近千千米范围内的无线电网路，在一天内中断了几小时；1962 年的百万吨级 400 km 高度的“海盘车”试验，通信的影响范围达 10000 km。核爆炸对不同频段无线电波传播的影响程度是不一样的。对其低频主要是引起相位及幅度的改变，对低频和中频主要是天波的吸收和散焦作用，影响的范围均在几百到几千千米，持续时间达几分钟到几小时；对用于远距离通信的高频段，除了吸收引起的信号衰减外，还会使传播途径发生改变；超高频段仅在视距传播通过高电离区时有吸收作用，其影响范围只有几千米到几十千米，影响时间也较短，约在几分钟内。

（撰写：华 鸣 审订：乔登江）

hebaozha fanghu qicai

核爆炸防护器材 protective equipment of nuclear explosion 保护人员、武器装备和各种物体避免或减轻核爆炸所产生的各种毁伤、因素毁伤的各种器材、设施的总称。包括个人防护器材和集体防护器材。个人防护器材主要包括对面部和呼吸道进行防护的防尘口罩、防尘面具和对全身进行防护的防尘服、橡皮手套、防尘靴套等。有时也可将观察人员使用的防闪光眼镜、空军飞机驾驶员使用的防核闪光飞行头盔，以及个人剂量仪、抗辐射药物等列入个人防护器材中。集体防护器材包括设置在地下坑道、掩蔽部、人防工事、帐篷、战斗车辆、飞机和舰艇舱室内的气密和供给清洁空气的设备。这些工事、掩蔽部本身具有抗冲击波、光辐射、早期核辐射的作用，所以也属于核爆炸防护设施。

（撰写：王 坚 审订：毛用泽）

hebaozha fangshexing hesu tance

核爆炸放射性核素探测 detection of radionuclide from nuclear explosion 测量放射性核素以探测核爆炸。核爆炸产生大量放射性核素，大气层核爆炸产生的放射性核素全部进入大气，地下核爆炸也可能有一部分核素泄漏到大气中。除了较快下落到地面的沉降物外，部分核素可以较长时间留在大气中，传播到远处，包括悬浮于空气中的微粒和放射性惰性气体。探测到这种放射性核素将证实发生了核爆炸，这是惟一能确认发生核爆炸的远区探测方法。按照《全面禁止核试验条约》规定，要在全球建立 80 个空气放射性气溶胶监测站，其中 40 个同时可以监测放射性惰性气体。将认定若干实验室负责用统一的技术操作规程分析各个监测站取得的样品。

H

放射性核素测量可以利用通常的实验室方法，如能量分辨较好的γ谱仪等。为了在几千千米以外探测核爆炸，要求测量设备具有很高的灵敏度、能常年不间断工作。为了提高灵敏度，必须配置大流量气溶胶取样器。

（撰写：吕 敏 审订：周佩珍）

hebaozha fangshexing qirongjiao

核爆炸放射性气溶胶 radioactive aerosol of nuclear explosion 核爆炸形成的具有强放射性的液态或固态微粒在大气中的悬浮体系。它和放射性沉降粒子一起，构成了核爆炸对大气的放射性污染。所不同的是沉降粒子在大气中的运动受到本身重力的影响，气溶胶则主要由大气运动所支配。核爆炸形成的气化物质，在冷却过程中凝结成大小不一的颗粒。其中粒度小于十几微米的固体粒子，组成了悬浮于大气中的放射性气溶胶。它在大气风场作用下，飘浮到远离爆点的区域。对不同高度上收集的气溶胶分析表明，其成分主要取决于弹体的结构物质，以及地面爆炸时的土壤性质。一般都含有铁、钙、硅和铝。形状几乎是具有光滑表面的球形，密度在5.2～6.5 g/cm³之间，爆后3天左右的β放射性活度从几十贝可到几百贝可，且随体积成比例地增加。核爆炸放射性气溶胶，同天然的雾、霾和人为形成的微尘、烟雾等气溶胶一样，可以成为水滴和冰晶的凝结核，在大气光学、光辐射和大气污染等方面具有重要作用。它的粒度范围适宜于阻留在人的鼻腔和鼻咽喉部，加上它具有很强的放射性，因此，它对人体的危害是不可忽视的。

（撰写：朱焕金 审订：乔登江）

hebaozha fuhe sunshang

核爆炸复合损伤 co-operated injuring effects of nuclear explosion 人员受到核爆炸多种毁伤作用造成不同程度的伤情。在核爆炸环境内人员可能遭到冲击波造成的冲击伤，光辐射的烧伤，核辐射造成的急性放射病等。人员的伤情根据对人员工作、生活能力的影响和治愈的难易分成极重度、重度、中度和轻度四级。中度以上伤情的人员已失去工作能力，但中度者可能治愈；重度以上者治愈困难。不同程度复合伤的分布与核武器性能、爆炸高度、威力和防护条件关系极大，可用空中爆炸对开阔地面人员的损伤半径来定量表示。下表给出威力为20 ktTNT，爆炸高度约300 m的核爆炸对开阔地面无防护人员造成中度、单一伤和复合伤半径。一般说来，空

开阔地面人员中度损伤的毁伤参数和损伤半径

毁伤因素	中度伤参数值	损伤半径/km
早期核辐射(吸收剂量)	2～3 Gy	1.3
光辐射(曝辐照度)	63～130 J/cm²	1.5
冲击波（超压）	59～98 kPa	1.1
复合损伤		1.5

中核爆炸对开阔地面人员损伤的范围最大，地面爆炸虽对人员损伤范围较小，但放射性沾染与造成的放射病范围可能更大，通过采取防护措施可以避免或减轻核爆炸对人员的损伤，例如采用地下工事、民防工事等就能达到防护的目的。

（撰写：乔登江 审订：吕 敏）

hebaozha guanceshao

核爆炸观测哨 nuclear burst observation post 观（探）测核武器袭击情况的哨所。其任务是用专用核爆光学观测仪观测核爆炸的外观景象和用自动化核爆炸探测装备测量核爆炸的光辐射、核电磁脉冲、冲击波等信号以确定核爆炸的时间、位置、威力与方式等参数。为估算瞬时杀伤破坏范围、程度和放射性沾染情况提供依据。核观测哨分为要地观测哨和野战观测哨。要地观测哨担负指挥所，交通、通信枢纽、机场和港口等重要目标的核观测。野战观测哨根据部队战斗行动情况组织核观测：当部队处于运动状态时，可随部队行进实施交替观测；当部队在防御阵地或集结地域时，可构筑工事实施定点观测。核观测哨由防化专业分队在便于通视观测地域的地点开设，配备有核爆探测（观测）仪、核闪光护目镜和通信器材等，并由三个以上的观测哨构成核爆观测配系。必要时可吸收炮兵观察哨、雷达站等加入观测配系。

（撰写：王 坚 审订：毛用泽）

hebaozha guangfushe

核爆炸光辐射 thermal radiation of nuclear explosion 核爆炸火球所发出的大致为紫外、可见、红外线波段内的辐射，又称热辐射。是大气层核爆炸的重要毁伤因素之一，占核爆炸总能量35%。光辐射的毁伤作用由曝辐照度（旧称光冲量）大小决定，它是垂直于光传播方向的单位面积在火球整个发光时间接受的能量，单位为J/cm²。光辐射在传播过程中随距爆心的距离的平方衰减，同时受到天气能见度的削弱，一般说来，晴朗天气，能见度良好，光辐射毁伤范围大，反之能见度低（例如阴、雨、大雾等）时其毁伤范围就小。光辐射除了受大气条件影响外，目标周围的地形、地貌也有不可忽视的影响。如果地面是沙漠或冰雪覆盖，由于反射增大，光辐射毁伤作用增强，如果是庄稼、森林覆盖，则毁伤作用减弱。

（撰写：乔登江 审订：吕 敏）

hebaozha guangfushe fanghu

核爆炸光辐射防护 protection against thermal radiation of nuclear explosion 避免或减轻人员、武器装备等遭受核爆炸光辐射毁伤的防护措施。（1）遮：任何不透明物体都能遮蔽光辐射，保护人员、物体不受光辐射直接毁伤。宽大、厚实、浅色或白色服装能使皮肤受到保护，化纤衣料受光辐射作用会熔化，粘连皮肤能加重皮肤损伤。（2）避：人员发现闪光，在开阔地应立即就地掩蔽；在室内、应避开窗户。在驻地平时应随时清除易燃物、易爆物以防止光辐射引燃、引爆造成严重的后果。（3）埋：通信电缆、输油管等，埋入土中便能得到保护；武器装备易燃部位涂上防火漆，甚至白灰、黄泥，便能减轻破坏。（4）消：就是落实消防措施。在爆后应及时消灭一切隐燃苗头；发生明火时，应全力扑灭，避免酿成大面积火灾。

（撰写：王 坚 审订：毛用泽）

hebaozha guangfushe huishang xiaoying

核爆炸光辐射毁伤效应 damage and injure effects of thermal radiation of nuclear explosion 核爆炸光辐射对物体和人员的破坏和杀伤作用。在光辐射作用下，物体表面温度急剧升高，可能造成物体表面灼焦、熔化或起火燃烧。物体破坏程度取决于曝辐照度（旧称光冲量）的大小，也与目标表面的颜色和粗糙度、材料的物理性能及厚度等有关。干燥松软的易燃材料，在大约13～21 J/cm²的曝辐照度作用下可起火燃烧。火焰在自然风和冲击波形成的阵风作用下，可能迅速蔓延而形成大面积火灾。如图所示为3 MtTNT核弹空中爆炸，距爆心投影点22 km处的飞机受光辐射效应引起易燃材料起火被烧毁的情况。光辐射作用到人体可能造成的伤害主要有：（1）皮肤



光辐射使飞机烧毁的情况

图出处：国防科学技术工业委员会科学技术部.中国军事百科全书.核武器分册.北京：军事科学出版社，1990.80

烧伤。人体的裸露部位可受到光辐射所引起的直接烧伤；也可受到因光辐射使衣服、房屋和其他物体着火而造成的间接烧伤。皮肤受直接伤害的程度取决于曝辐照度的大小。导致某一伤害程度所需的曝辐照度随爆炸的威力的增加略有增加。根据皮肤烧伤的程度、面积和部位等项指标，皮肤的伤情可分为轻度、中度、重度、极重度四级，当曝辐照度在63～130 J/cm^2 之间时可能造成中度以上烧伤。(2) 眼底烧伤（又称视网膜烧伤）。人眼直视核爆炸火球时，火球在视网膜上成像，当进入瞳孔的光辐射能注量超过约0.42 J/cm^2 时，发生视网膜烧伤。由于眼睛有聚光作用，所以可造成眼睛烧伤的范围比皮肤烧伤要大得多。例如，3 MtTNT 核弹空中爆炸，大气能见度为35 km 时，可造成眼底烧伤范围约70 km。(3) 闪光盲。由核爆炸火球亮度刺激引起的视功能紊乱、色觉异常和视力下降等症状，但不经治疗即可恢复。闪光盲发生的范围远大于光辐射的其他伤害范围。在晴朗天空条件下，3 MtTNT核弹空中爆炸闪光盲发生的范围约200 km。飞行员遭受闪光盲伤害会导致严重后果。（撰写：乔登江　审订：吕　敏）

hebaozha guangfushe shaoshang jiuzhi

核爆炸光辐射烧伤救治　medical aid against thermal radiation burn of nuclear explosion　对遭受核爆炸光辐射烧伤伤员抢救和医疗的措施。光辐射烧伤和一般火焰烧伤都是热能作用于体表形成的损伤，具有基本的共同点，平时治疗烧伤的方法，对光辐射烧伤的治疗同样有效。但光辐射烧伤又有其特点：它多发生于朝向爆心的暴露部位；烧伤深度较浅（二度烧伤为主）；观看火球者，易发生视网膜烧伤；往往还复合有冲击伤、放射损伤等。因此，治疗原则是：在核爆炸毁伤区内，大力开展自救、互救；中度烧伤以上伤员，应采取抗休克措施；对烧伤创面用干净布覆盖，重视创面处理，避免感染，促进愈合；对重度以上伤员，必须针对烧伤感染规律和特点，选用抗菌药物治疗；大面积深度烧伤伤员，需少量多次输血，补充针对细菌感染的特殊免疫血清等。

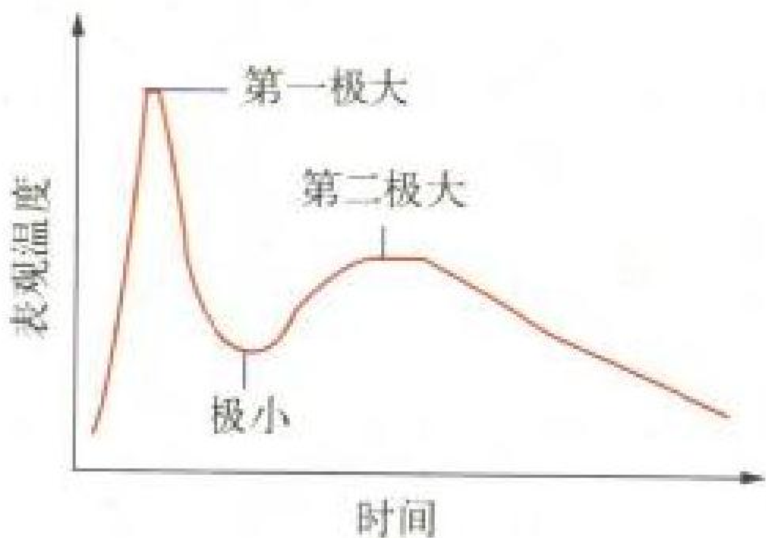
（撰写：王　坚　审订：毛用泽）

hebaozha huoqiu

核爆炸火球　nuclear explosion fireball　核爆炸瞬间放出巨大的能量，使核反应区内的温度升高到数千万开［尔文］以上，压力升高到10^{15} Pa以上，使弹体物质变成高温高压气团，这种气团发射出的热辐射使周围的冷空气加热和增压，形成猛烈向外膨胀的发光气团。核爆炸火球不断地以光和热的形式向外辐射能量，形成了核爆炸的另一个重要杀伤破坏因素——光辐射。空爆火球发展过程中体积迅速扩大，前期为球形，后期则变为馒头状。地爆火球一开始便呈半球形，颜色比空爆火球暗，火球发光结束后形成烟云。空爆火球的表观温度随时间的变化经历第一极大、极小和第二极大两个脉冲过程（见图）。第一极大出现时，冲击波的波阵面即为火球表面，其后由于冲击波强度的减弱而出现极小，当冲击波阵面脱离火球后，出现第二极大。火球最大时的半径及发光时间的长短与爆炸威力有关（见表）。

空爆火球主要特征量表

威力 /kt TNT	第一极大辐亮度到来时间/ms	最小辐亮度到来时间/ms	第二极大辐亮度到来时间/ms	火球发光时间/s	火球最大半径/m
20	0.3	14	140	2.4	220
1000	1.5	80	790	13	890



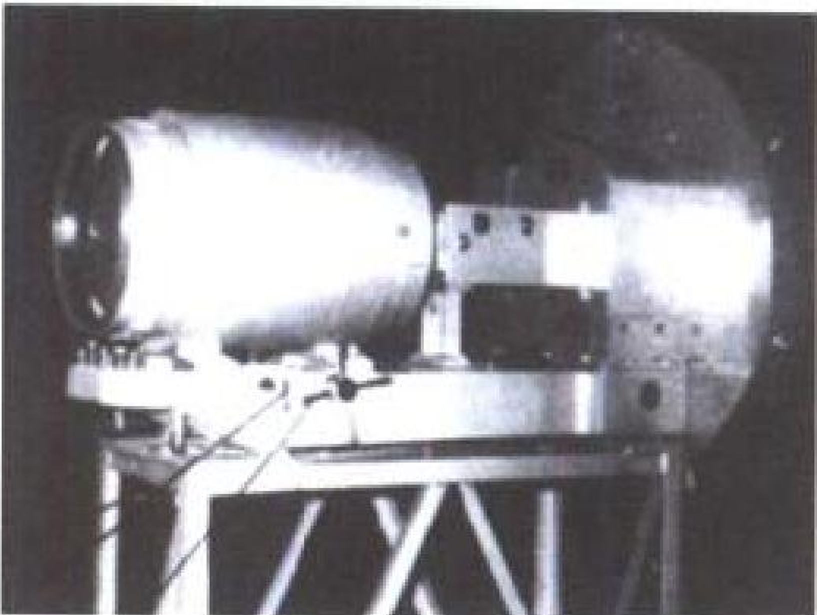
火球表观温度随时间的变化

图出处：国防科学技术工业委员会科学技术部.中国军事百科全书.核武器分册.北京：军事科学出版社，1990.81

（撰写：乔登江　审订：吕　敏）

hebaozha huoqiu canshu celiang

核爆炸火球参数测量　measurement of nuclear fireball parameters　为探明核爆炸火球特性，对核爆炸火球参数所进行的测量。它是研究核爆炸在不同环境中的热辐射特征和光辐射效应的重要手段。其内容包括对火球的几何尺寸、表面亮度、发光时间和光谱分布等进行测量，其测量结果还可以用来推断爆炸威力。火球参数测量用照相方法，拍摄其外形尺寸及随时间变化；利用照相底片感光程度，了解表面亮度和光谱变化情况等。由于火球发展迅速，需要使用不同拍摄频率的相机来拍摄它发展的全过程。火球发展早期，可用每秒几万幅以上的旋转式高速相机；发展中期，可用每秒上千幅的光学补偿式高速相机和每秒几百幅的高速电影摄影机；火球后期可用普通的电影摄像机。为了特殊需要，也可以用高速相机拍摄单张或多幅分幅照片。可用扫描式高速相机（见图）进行火球表观温度的光谱测量，以获得早期火球的光谱分布等参数。



拍摄早期火球用的每秒百万次高速相机

（撰写：朱焕金　审订：吕　敏）

hebaozhaji γ shunshi fushe moniyuan

核爆炸级γ瞬时辐射模拟源　nuclear burst level prompt γ radiation simulation source　用于核爆炸效应研究的产生强γ辐射的装置。目前主要为高功率脉冲电子束加速器。这种加速器由Marx发生器、Bleumlein传输线及相对论电子束二极管组成。所谓Marx发生器是由多个可并联充电、串联放电的电容器组成的储能设备，可提供约为十几兆伏电压，总储能可达数百千焦至1MJ。Bleumlein传输线是两个同心圆筒组成的传输线，用作电压脉冲形成，脉冲宽度为50～100 ns，二极管利用场致发射从阴极上拉出电子，阴极电流可达100 kA～1 MA。在靶前1 m处的吸收剂量为1～100 Gy，吸

收剂量率为 $10^7 \sim 10^9$ Gy/s，可用于核爆炸级辐射效应实验。全世界目前已建立了数台这类设备，我国也建立了一系列这类加速器，如中国工程物理研究院的闪光Ⅰ(见图)。



中国工程物理研究院闪光Ⅰ电子束加速器外貌

(撰写：赖祖武　审订：郑绍唐)

hebaozha leida tance xitong

核爆炸雷达探测系统　nuclear burst radar detection system　利用雷达脉冲与被发射的核弹头、核爆后闪光、火球以及核烟云的相互作用过程在雷达显示器上出现的回波信号及其变化，发现核爆炸并测定爆点的方位、距离、爆高、威力等核爆参数的核爆探测装备。雷达探测系统通常由舰艇等的警戒雷达、测高雷达、引导雷达等组成。雷达核爆探测方法，具有单站实时监测、多参数、响应快、不受气象与昼夜条件限制以及探测距离可达数百千米等优点，并可利用现成的雷达网。存在主要问题是：人工迅速捕捉目标、判别等技术上较复杂，不易掌握；探测的准确度较差；需要警戒雷达(或引导雷达)与测高雷达配套，才能完成多参数核爆探测任务。现已发展微机控制的雷达信号实时、在线处理的核爆探测技术。

(撰写：张宏濂　审订：毛用泽)

hebaozha pohuai dengji

核爆炸破坏等级　nuclear [burst] damage classification　武器装备和工程设施等目标遭受核爆炸毁伤因素破坏程度轻重的分类。一般分为轻微、中等、严重破坏三级，有时增加完全破坏而分为四级(参见核武器毁伤程度)。

(撰写：李江辰　审订：王　坚)

hebaozha shuisheng tance

核爆炸水声探测　hydroacoustic detection of nuclear explosion　利用爆炸在水中产生的声波探测核爆炸。在水中进行核爆炸将产生强烈的声波，其频率约为 1～100 Hz。由于海水的温度和密度的变化，在海洋中可以形成一个称为 SOFAR 的通道，核爆炸产生的水声波经此通道传播到几千千米以外，仍然可以探测到。因此《全面禁止核试验条约》中规定采用水声方法监测水中核爆炸，在全球建立 6 个水声监听站。水声探测的主要设备是悬浮于海水中的水声探测器，海军用于探测潜艇活动的声纳探测系统也可以满足核爆炸探测要求。条约还规定建立 5 个在海岛上设立的 T 相地震监测设备，通过水声引起的地震信号探测核爆炸。利用海洋研究和海军积累的海水声速数据，可以用水声探测结果推测发生核爆炸的地点。

(撰写：吕　敏　审订：周佩珍)

hebaozha shunshi fuheshang jiuzhi

核爆炸瞬时复合伤救治　medical aid against prompt combined injuries of nuclear explosion　对遭受两种(含两种)以上核武器毁伤因素致伤伤员的抢救和医疗的措施。瞬时复合伤伤员的抢救，由战时临时编成的核、化武器救治队或连队的火线抢救组实施，作战人员自己或相互间也应自救与互救。由于核爆炸能在瞬间产生大量伤员，且有的伤情较重，及时救治对挽救伤员生命具有重要意义。救治的原则是：及时就地对休克、窒息、大出血、重要脏器损伤的伤员进行急救和相应的医疗处理，尽量减少阵亡；重点防治创伤、烧伤感染，适时进行清创手术；优先抢救危重伤员，努力减少早期死亡；对于没有严重创伤、烧伤的伤员不能轻视，尤其是敌方进行千吨级原子弹和中子弹袭击时；对大剂量辐射伤伤员，必要时可使用抗辐射药物，提高放射损伤的恢复能力。

(撰写：王　坚　审订：毛用泽)

hebaozha shunshi xiaoying fanghu

核爆炸瞬时效应防护　protection against prompt effect of nuclear explosion　避免或减轻人员、武器装备等遭受核爆炸冲击波、光辐射、早期核辐射、核电磁脉冲毁伤的防护措施。核爆炸瞬时效应是在爆后几十秒内起毁伤作用的，其能量约占核爆炸总能量的 90% 以上。采取有效的防护措施，可以大大减少人员伤亡和武器装备、物资器材的损失。人员的防护，主要是利用工事进行掩蔽。永备工事的防护层比较厚，有完善的防化设施，防护效果最好；野战工事能较好地防护瞬时毁伤因素。其次是合理地利用地形、地物进行防护。山地和丘陵地反斜面的山脚、陡坡、断崖、山洞、山谷等都有明显的防护效果；土丘、土坎、土坑、沟渠、涵洞等，也有一定的防护作用。当发现核爆炸闪光时，人员应立即背向爆心卧倒，以减轻伤害。夜间应注意防闪光盲和视网膜烧伤。装甲车辆的乘员，可利用车体进行防护。还应注意人员对早期核辐射的防护与剂量监测。武器、装备和物资的防护，除利用地形、地物和工事的掩蔽外，还可用耐热、坚固材料制成的盖、罩、套等遮盖，覆土(冰雪)埋藏，涂刷泥土、白灰浆、防火涂料及用绳索固定等方法防护。电气、电子设备对核电磁脉冲的防护，可采用屏蔽、接地和增加保护装置等措施。

(撰写：王　坚　审订：毛用泽)

hebaozha tance

核爆炸探测　detection of nuclear explosion　利用各种爆炸效应探测核爆炸，并给出爆炸威力、爆炸位置等信息。战争期间核爆探测将及时、准确地为指挥机关提供敌方或己方实施的核爆炸信息，也称为核爆炸侦察。和平时期将监测世界各国的核试验，并用于判断是否发生违反有关限制与禁止核试验条约的行动。探测核爆炸的方法很多，利用地面测量站进行的主要有：放射性核素、次声波、电磁脉冲、地震波、水声测量等，其中放射性核素、次声波、电磁脉冲测量适合于探测大气层核爆炸；地震、放射性核素测量适合于探测地下核爆炸；而水声对探测水中核爆炸更为合适。利用安装在卫星上的核爆探测器能够快速、准确地探测大气层或高空核爆炸。《全面禁止核试验条约》中规定了放射性核素、次声波、地震波和水声测量作为正式的条约监测方法，而星载探测方法则作为国家技术手段，它获取的信息可以作为启动现场视察的依据。

(撰写：吕　敏　审订：周佩珍)

hebaozha xiaoying canshu celiang

核爆炸效应参数测量 measurement of nuclear explosion effect parameters 为探明核爆炸的毁伤因素在爆炸环境中的传播规律，在距爆心不同距离上对各种效应参数所进行的测量。它是研究核爆炸效应规律的重要手段，其内容包括：(1) 冲击波参数测量。通过某一测点的完整波形，得到冲击波的超压峰值、负压、正压和负压作用时间以及到达时间，测量中应避免地形和气象影响。(2) 光辐射参数测量，主要测量火球辐照度（照度）和曝辐照度。辐照度测量采用光度计，曝辐照度测量采用热电式仪器。(3) 早期核辐射中中子注量测量利用活化探测器、活化箔和裂变箔。一些稳定同位素（例如金、硫等）及裂变元素铀等在中子作用下会形成放射性同位素或发生裂变，通过测量放射性或裂变数来得到中子注量。这类探测器也称为阈探测器。γ辐射剂量测量要求元件具有量程宽，对中子不灵敏等特点，曾应用胶片剂量仪、化学剂量仪、闪烁剂量仪、热释光剂量仪和玻璃剂量仪等。(4) 核电磁脉冲分为源区、近区和远区测量，它们的波形有很大差别。需要不失真地记录它的波形，从而得到它的场强值。测量原理则大致相同，测量系统包括天线、场效应管跟随器和地网等部分。(5) 放射性沾染监测包括地面γ剂量率，近地面空气总β放射性浓度和地面放射性沉降量等。地面γ剂量率测量用辐射级仪等设备，近地面空气总β放射性浓度，通过空气取样器收集空气中的放射性微粒来得到，地面放射性沉降量是用取样盘和取样胶粘纸收集沉降粒子来得到。

（撰写：朱焕金 审订：吕 敏）

hebaozha xiaoying moni

核爆炸效应模拟 simulation for nuclear explosion effects 利用实验室手段和计算机再现核爆炸诸毁伤参数及其效应。模拟的毁伤因素及其效应主要有冲击波、光辐射、核辐射、X射线、核电磁脉冲及它们产生的毁伤效应。模拟设备可以分为响应级和破坏级，前者仅能模拟系统对毁伤因素的响应过程，后者则可以使系统达到不同等级的破坏。模拟方法分为直接模拟和间接模拟。可以直接在实验室进行核辐射模拟的有三个方面：中子注量及其效应，在稳定态和脉冲反应堆中进行，或利用中子发生器对高能中子进行模拟；γ总剂量及其效应，一般在^{60}Co源中进行；γ剂量率及其效应，在专用的强流电子束加速器产生高γ剂量率（10^6～10^9 Gy/s以上）的装置中进行。核电磁脉冲及其效应，可在专用的核电磁脉冲模拟器中进行。X射线及其效应目前主要用间接模拟方法，即以低能强流电子束来模拟X射线及其力学效应，例如我国研制的闪光Ⅱ装置就可用作这种模拟。计算机模拟基本上可以再现冲击波、光辐射及其效应以代替化学炸药爆炸和实验室模拟，但还不能全面替代用实验室手段进行的模拟研究。

（撰写：乔登江 审订：吕 敏）

hebaozha yangpin de fenning wenti

核爆炸样品的分凝问题 nuclear explosion debris fractionation 核爆炸后形成不同粒度的微粒，其元素组成比例不同，由此对放射化学分析带来的问题。核爆炸后剩余核装料及裂变聚变反应产物全部气化，随着火球温度的下降，气化了的物质逐渐冷凝析出成固态。由于各种核素的物理化学性质上的差异，难熔的核素先行冷凝固化析出，易挥发的核素最后析出成固态。因而在所形成的不同粒度放射性微粒中，任何两种核素含量的比值不是一个恒定值，随粒度不同而变化，称为核爆炸样品的分凝。通常按分凝行为将核素分为三类：难熔核（^{95}Zr，^{99}Mo，^{147}Nd，^{239}Pu，^{241}Am等），中等挥发核（U，^{140}Ba等）及挥发核（^{131}I，^{89}Sr，^{132}Te等）。难熔核在微粒中呈体分布，挥发核呈面分布。利用分凝较大的样品进行放射化学方法诊断时，必须对不同粒度样品的测试结果进行分凝关联校正。地下核试验中，玻璃体中不同核素间也有一定的分凝现象，但不同于大气层试验的规律，通常可以成功地获得有代表性、符合应用要求的玻璃体样品。

（撰写：陈 达 审订：吕 敏）

hebaozha zaoqi hefushe

核爆炸早期核辐射 initial nuclear radiation of nuclear explosion 又称贯穿辐射。核爆炸头十几秒内，伴随核反应和反应产物衰变过程放出的很强贯穿能力的中子和γ射线。是核爆炸特有的毁伤因素，约占核爆炸总能量的5%。早期核辐射从辐射源发出后，通过大气并与大气发生多次相互作用向远处传播，形成了具有空间分布、能量分布、时间分布和角分布的早期核辐射场。早期核辐射由于空气的吸收，其强度随距离的增加衰减很快。其毁伤范围一般在1～2 km内。早期核辐射中虽然还有β和α粒子，但由于其射程短，贯穿能力不强，杀伤破坏作用较小，所以通常不予考虑。早期核辐射对人员和物体的损伤程度取决于单位质量的物质吸收射线的能量——吸收剂量，其单位为戈[瑞](Gy)。人员受不同射线相同吸收剂量的照射作用，其损伤有所不同。

（撰写：乔登江 审订：吕 敏）

hebaozha zaoqi hefushe huishang xiaoying

核爆炸早期核辐射毁伤效应 injuring and damage effects of initial nuclear radiation of nuclear explosion 核爆炸释放的早期核辐射对人员、电子器件和其他物体的毁伤作用及效果。早期核辐射作用于人体时，一方面使细胞物质的分子和原子发生电离和激发，产生大量的自由电子、离子和激发态的分子，使体内高分子物质的分子键断裂而遭破坏；另一方面使水分子电离形成自由基，导致细胞变性和死亡。早期核辐射对人员的损伤，按表现时间可分为早期效应、远期效应和遗传效应。远期效应和遗传效应是指人员受照射后数月、数年或终身以及后代发生的慢性效应（参见*核爆炸的长期生物效应*）。小剂量照射的早期效应主要表现有消化系统和植物神经系统功能紊乱，血液白细胞数下降；大剂量照射的早期效应主要表现为急性放射病。人员全身吸收1～2 Gy后可以引起轻度骨髓型放射病；吸收2～3.5 Gy后可发生中度骨髓型放射病；吸收3.5～5.5 Gy后可致重度骨髓型放射病；吸收剂量大于5.5 Gy后可造成极重度骨髓型放射病。若吸收剂量达到6.5 Gy以上时，可以引起肠型放射病、脑型放射病或立即休克死亡。中子弹就是主要利用早期核辐射来杀伤有生力量的。早期核辐射作用在电子器件上时，中子会产生永久性位移效应，γ射线主要产生电离效应。因此，电子器件在高剂量率或大剂量作用下，会引起瞬态干扰和永久损坏。由于在导弹核武器和其他现代武器系统上，广泛地采用了对早期核辐射敏感的半导体器件和集成电路，容易被拦截核武器爆炸时所形成的早期核辐射所损坏。此外γ射线在介质传播中会激励起瞬态电磁脉冲，（参见*核电磁脉冲*、*内电磁脉冲*）中子在某些物质中产生感生放射性，这些都是早期核辐射的重要次级效应。

（撰写：乔登江 审订：吕 敏）

hebaozha zhanran haiqu yuce

核爆炸沾染海区预测 contaminated sea area prediction for nuclear explosion 对核爆炸后可能形成的放射性沾染海区的范围、海面周围吸收剂量率分布及其随时间变化情况的预先估算。分为沾染海区爆前预测和沾染海区爆后预测。沾染海区爆前预测是依据对敌方核武器及其使用的基本原则、方法的分析研究，并结合部队的兵力组成和分布，推断可能被袭击的目标、核弹威力、袭击方式和时机以及气象情况等，从而用海军防化作业箱预先估算海区受沾染情况，为基地和舰艇部队行动和核防护提供依据。沾染海区爆后预测是依据核观（探）测获取的核爆炸威力、爆心投影点位置、爆炸方式及高空风等初始数据，用海军防化作业箱预先估算海区受染情况，为基地和舰艇部队防护和规避提供依据。

（撰写：海 淀　审订：毛用泽）

hebaozha zhanran kongyu yuce

核爆炸沾染空域预测 contaminated airspace prediction for nuclear explosion 对核爆炸后可能形成的放射性沾染的空域范围、周围吸收剂量率分布及其随时间变化情况的预先估算。分为沾染空域爆前预测和沾染空域爆后预测。沾染空域爆前预测是根据对敌方核武器及其使用的基本原则、方法的分析研究推断可能被袭击目标、核弹威力、袭击方式、时机和气象情况等从而用空军防化作业箱预先估算受沾染空域情况，为基地和空军部队的行动与核防护提供依据。沾染空域爆后预测是依据核观（探）测获取的核爆威力、爆心投影点位置、爆炸方式及高空风等初始数据，用空军防化作业箱预先估算空域受沾染情况，为基地和空军部队防护和规避提供依据。

（撰写：张宏濂　审订：毛用泽）

hebaozha zhongzi zengzhilü

核爆炸中子增殖率 neutron multiplication rate during nuclear explosion 核爆炸时核系统中中子数的相对增量随时间的变化率。常用 $\lambda(t)$ 表示，即

$$\lambda(t)=\frac{\mathrm{d}N(t)}{N(t)\mathrm{d}t}$$

式中 $\lambda(t)$ 为核系统中 t 时刻的中子增殖率；$N(t)$ 为核系统中 t 时刻的中子数。在裂变武器或热核武器初级中，中子增殖率是决定链式裂变反应的发展变化过程，从而决定该核装置动作是否正常和效率大小的重要物理量。

（撰写：郑绍唐　审订：俞大光）

hebaozha zhuangzhi

核爆炸装置 nuclear explosion device 核武器中具有引发裂变反应放能或裂变—聚变反应放能形成爆炸功能的部分。简称核装置，是核武器的核心组成部分。通常由核部件、炸药部件、火工品、核点火部件及结构部件等组成。核装置按设计原理及结构分为裂变装置和热核聚变装置两大类。裂变装置的核部件包括中子反射层和（或）惰层与裂变材料芯。热核装置由初级、次级及辐射屏蔽壳三部分组成，有时还把辐射通道作为一个组成部分。初级的组成与裂变装置基本相同，但在结构上要考虑有利于初级的辐射能往次级的高效传输。次级一般由推进层和（或）惰层、聚变燃料、裂变芯组成。各组成部分的作用和相互关系可参见裂变武器和热核武器。

（撰写：郑绍唐　审订：俞大光）

he baozha zhuangzhi huabao

核［爆炸］装置化爆 chemical explosion in nuclear explosion device 核装置中的炸药发生了爆炸，但释放的核能可以忽略的情况。核武器发生化爆时可使武器中的钚（熔点为 641 C）以气溶胶方式散落到很大范围，可能被吸入人体内积聚在肺孔里，给健康造成巨大危害。钝感炸药在事故中发展成爆轰的概率比普通炸药小得多，为了核武器的化爆安全，核装置有采用钝感炸药的趋势。核武器投射后，有时为了安全或其他原因，需要对其实施化爆自毁，有意使核战斗部失去核爆炸能力（参见核战斗部自毁）。（撰写：郑绍唐　审订：俞大光）

he baozha zhuangzhi quanguocheng shuzhi moni shiyan

核［爆炸］装置全过程数值模拟实验 integrated numerical simulation experiment of nuclear explosion device 利用经过核试验和实验室实验考察、检验的总体计算程序包，在计算机上对核武器反应全过程的数值模拟计算。随着计算技术的发展，计算机上的数值模拟计算已经能把影响武器性能的许多重要的物理因素包含进去，总体计算程序包又经过了大量实验的多方考察、反复检验，具有一定的客观性，所以习惯于把这样的计算叫做“全过程数值模拟实验”。这种模拟计算可以使核武器物理学家细致了解核爆炸的全过程，掌握各反应阶段的发展变化规律，很快对新的设计思想作出评估，还可以优化设计，减少核试验，对库存核武器性能变化作出判断。禁核试后，全过程数值模拟计算更加重要。像美国正在实施“加速战略计算倡议”计划，这一计划要求数值计算能力有大幅度的增长，到2003年将计算速度提高到百万亿次每秒。还将发展高性能、全物理、全系统、三维计算程序以支持核武器设计、核武器生产分析、事故分析和核武器认证。发展核武器物理、核武器工程和加工科学领域的应用计算程序，综合起来形成评估全核武器系统性能的能力。计划的目标是将对核武器以核试验为基础的评估方法转移到以计算为基础的评估方法。

（撰写：郑绍唐　审订：徐逦新）

he baozha zhuangzhi wuli sheji

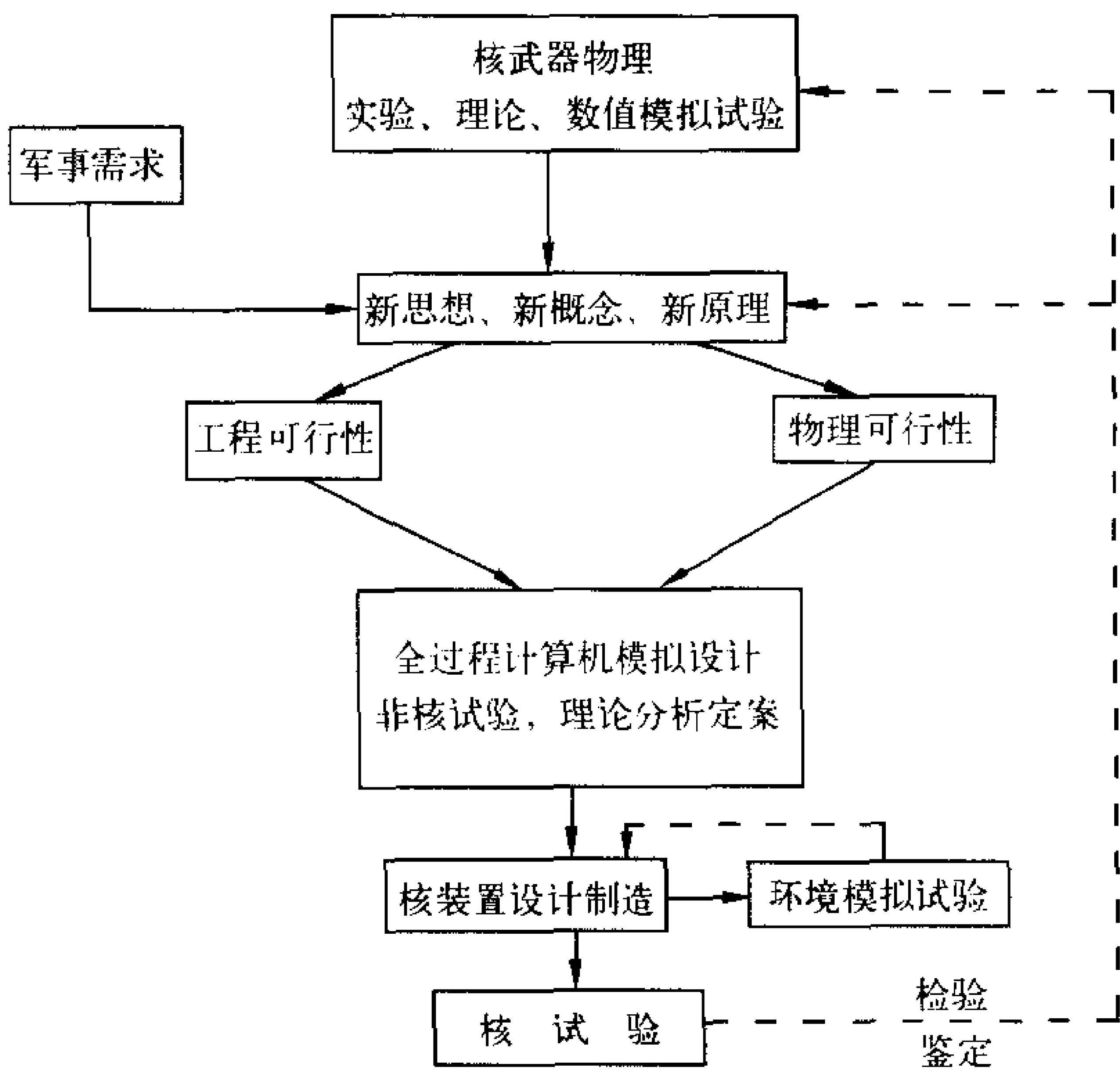
核［爆炸］装置物理设计 physical design of nuclear explosion device 解决装置的原理、材料和构形（各种材料的配置、形状、尺寸）问题的核装置研究的第一道工序。核武器重大原理突破阶段先要经过若干年的基础研究或预先研究，研究核装置从雷管起爆到核爆炸结束所经历的各个物理过程的现象和发展规律，提出设计原理，选择性能合适的核和非核材料，通过全过程数值模拟计算，设计出优化构形，形成原理性核试验装置的物理设计方案。在核武器原理突破后，要根据对核战斗部的威力、尺寸、质量和重心等要求进行某种型号核武器的物理设计。物理设计需要新的物理思想，也离不开在电子计算机上的大规模科学计算——全过程数值模拟计算。核装置的物理设计正确与否最后要经过核试验的检验。

（撰写：郑绍唐　审订：竺家亨）

he baozha zhuangzhi yanzhi liucheng

核［爆炸］装置研制流程 flow diagram of nuclear explosion device research and development 如图所示的核装置研究过程和各种研究试验工作、各部门工作间的相互关系。军事需求确定核装置的研制目标，核武器物理研究是核武器能够不断发展的根据，是设计中新思想、新概念的源泉。全过程计算机模拟设计是实现核装置物理设计的核心环节。核试验起校

验和发展理论的作用。核武器定型一般也要经过核试验考核。



核装置研制流程图

（撰写：郑绍唐 审订：兰家亨）

he baozha zhuangzhi zire

核[爆炸]装置自热 self-heating of nuclear explosion device 核装置中因核材料组成同位素的放射性衰变放热引起温度升高的现象。裂变材料含有多种同位素成分，它们的放射性衰变将放出热量，使裂变材料温度升高。以含 93.4% ^{239}Pu, 6.0% ^{240}Pu, 0.6% ^{241}Pu 的武器级钚为例，由于^{239}Pu 的 α 放射性，^{240}Pu 的 α 放射性和^{241}Pu 的 β 放射性，将产生 2.2 W/kg 的热输出，等到大部分^{241}Pu 衰变成^{241}Am 后，由于^{241}Am 是短半衰期的5.5 MeV α粒子发射体，自热将上升到2.8 W/kg。氚以 12.3 a 的半衰期放出 18.6 keV 的 β 粒子，氚的热输出为 0.324 W/g。^{235}U 与 ^{238}U 都是天然放射性同位素，发射α粒子，但它们的半衰期特别长，分别为 7.04×10^{8} a 和 4.47×10^{9} a，因此自热不重要。（撰写：郑绍唐 审订：徐遇新）

hecailiao

核材料 nuclear material 《国际原子能机构规约》中，核材料定义为任何源材料或特种可裂变材料。在我国，核材料系指源材料、特种可裂变材料、氚及含氚的材料和制品、^{6}Li 及含 ^{6}Li 的材料和制品（参见源材料和特种可裂变材料）。

（撰写：刘大鸣 李 泽 审订：严叔衡）

hecailiao cashi yangpin

核材料擦拭样品 swipe samples of nuclear material 是对核设施的主要工艺建筑物内外和有关工艺建筑物内外进行擦拭所收集的样品，是国际原子能机构环境取样的一种环境样品。通过擦拭样品分析特别是粒子分析可获取与核活动相关的环境特征信息。（撰写：程微微 审订：李 泽）

hecailiao chushi cunliang

核材料初始存量 initial physical inventory of nuclear material 核材料管制生效时存在于给定区域内最初的核材料量。初始报告中的初始核材料存量经特别视察核实确认后就作为该设施第一个平衡周期的期初存量。

（撰写：陈连仲 审订：金惠民）

hecailiao de zhongyaoliang

核材料的重要量 significant quantity of nuclear material 考虑了有关的转换过程，有可能制成一个核爆炸装置的核材料的大致数量。目前通用的重要量数值如表所示。重要量考虑了转换和制造过程中不可避免的损失。

国际原子能机构推荐的核材料的重要量数值

材 料		重 要 量	适 用 范 围
直接使用的核材料	Pu ①	8 kg	总元素量
	^{233}U	8 kg	总同位素量
	U(^{235}U ≥ 20%)	25 kg	^{235}U 含量
间接使用的核材料	U(^{235}U < 20%) ②	75 kg	^{235}U 含量
	Th	20 t	总元素量

① 指^{238}Pu 含量小于 80 % 的 Pu。
② 包括天然铀和贫化铀。

（撰写：刘大鸣 审订：严叔衡）

hecailiao fengge

核材料封隔 containment of nuclear material 核设施或设备的一种结构特性，可以利用这一特性防止未被察觉地接近或转移核材料或其他材料，或防止对物项和核保障设备或资料的干扰，以确认区域或物项的实物完整性。例如，贮存室或贮存池的墙、运输容器和贮存容器。通常，由封记和监视措施保证封隔本身连续的完整性（特别是封隔侵入部位，例如门、容器盖和水面等）。（撰写：陈连仲 审订：李 泽）

hecailiao fengji

核材料封记 seal of nuclear material 附在容器、物体或物体组上的防干扰的一种标志器，它的完整性表明了容器及其内容物、包括任何特性标志的物体组的完整性。为此，要做到不打开封记或不破坏封隔就很难接近被封存的物项。国际原子能机构通常使用的能指示扰乱的封记有两类：(1) 一次性封记，如金属封记和粘胶封记；(2) 可现场核查的封记如光纤封记、超声封记和电子封记。

（撰写：陈连仲 审订：李 泽）

hecailiao hengsuan

核材料衡算 nuclear material accounting 为了确定在规定区域内具有的核材料数量以及在规定的时间周期内这些数量所发生的变化而进行的活动。核材料衡算的主要环节是：确定核材料平衡区和关键测量点，材料的测量，记录的保存，编制并提交衡算报告，核实并分析不明材料量（MUF）正确性和准确度的衡算数据，以及评价 MUF 的原因。

（撰写：陈连仲 审订：李 泽）

hecailiao huanjing quyang

核材料环境取样 environmental sampling of nuclear material 在某一场所或其附近收集环境样品（如空气、水、植物、土壤、污斑等），以证实在该场所不存在未申报的核材料和核活动。它是国际原子能机构（IAEA）加强核保障措施之一。核材料的生产，不论采用何种隐蔽手段，总会有一些特征物质释放到环境中，通过沉降、大气扩散和水的传输等途径进入设施附近的水、大气、土壤、植物和其他生物体中，经环境取样和分析，不仅可以确认已申报的核材料和核活动，而且还

能探知未申报的核材料和核活动。

（撰写：程微微　审订：严叔衡）

hecailiao jianshi

核材料监视 surveillance of nuclear material　为了监视核材料的转移，探查对封隔的干扰以及对核保障的装置、样品和资料的扰乱，通过视察员或仪器的观察收集有关资料的活动。

（撰写：陈连仲　审订：李　泽）

hecailiao pinghengqu

核材料平衡区 material balance area (MBA)　核设施以内或以外的这样一个区域：(1)能够确定每次进出此区域的核材料数量；(2)必要时，能按照规定的程序确定每个材料平衡区内核材料的实物存量，以便能确定所需要的核材料平衡情况。国际原子能机构在确定材料平衡区时必须使用下述准则：(1)材料平衡区的大小应与建立材料平衡的准确度有关；(2)在确定材料平衡区的过程中，要有利于使用封隔和监视措施，以保证流量测量的完整性，因而简化核保障的实施，把测量工作集中在关键测量点上；(3)为了与国际原子能机构的核实要求相一致，可以把设施或不同场所的一些材料平衡区合并为国际原子能机构衡算使用的一个材料平衡区；(4)如果当事国有这种要求，可以围绕一个包括商业敏感信息的流程工序建立一个特殊材料平衡区。（撰写：陈连仲　审订：李　泽）

hecailiao pingheng zhouqi

核材料平衡周期 nuclear material balance period (MBP)　在国家核材料衡算管理系统的材料平衡报告中反映出的两次相邻的实物盘存之间的时间，或是两个相邻的账面存量结算日期之间的时间。（撰写：陈连仲　审订：李　泽）

hecailiao qichu cunliang

核材料期初存量 beginning inventory of nuclear material　某一平衡周期开始时所拥有的核材料量。期初实物存量应等于前次材料平衡周期中的该材料的期末存量。

（撰写：陈连仲　审订：全惠民）

hecailiao qimo cunliang

核材料期末存量 ending inventory of nuclear material　某一平衡周期结束时所拥有的核材料量。它是盘存时清点和测量过的核材料批数据的总和，反映本平衡区本期末全部核材料的实际存量。（撰写：陈连仲　审订：全惠民）

hecailiao shiwu baohu

核材料实物保护 physical protection for nuclear material　对存有核材料的建筑物和车辆（指运输过程）等建立安全防范系统，以实施对核材料的保护。实物保护是核材料管制中的重要内容，是指一个综合的系统，包括人员警卫和守护，实体屏障，由探测系统、报警系统、出入口控制、中央控制室等组成的技术防范系统，应急响应体系等。核材料是重要的战略物资，需要重点保护，防止其被盗、破坏、丢失、非法转让和非法使用，以保护国家和人民的安全。我国制定了《核材料管制条例》及其《实施细则》等法规，对核材料实施管制和保护。一般讲，需管制的核材料是：(1) ^{235}U，含 ^{235}U 的材料和制品；(2) ^{233}U，含 ^{233}U 的材料和制品；(3) ^{239}Pu，含 ^{239}Pu 的材料和制品；(4) ^{3}H，含 ^{3}H 的材料和制品；(5) ^{6}Li，含 ^{6}Li 的材料和制品；(6)政府认为需要管制的其他材料。确保核材料的安全是核材料持有者的责任，核材料持有者必须制定实物保护大纲，建立实物保护组织和安全防范系统，经国家核安全监督机构审评批准并颁发许可证后，持有者才能合法持有核材料。核材料持有者必须保证安全防范系统运作正常，平时要随时接受核安全监督机构的监督检查。

（撰写：薛伟贤　审订：董柏年）

hecailiao shiwu baohu dengji

核材料实物保护等级 physical protection levels of nuclear material　根据被保护核材料的性质、数量及重要性而划分的保护级别。例如，我国将核材料的实物保护分为三个保护等级。保护等级划分标准如表所示。在我国的《核材料管制条例》及其《实施细则》中，对三个保护等级的安全防范要求，作了明确规定。其中，Ⅰ级核材料的保护要求最高，要求核材料存放在专门的保险柜中、至少要有两道完整的实体屏障、要有专人守护和完整的技术防范设施等。而Ⅲ级核材料的实物保护，只要求有一道完整的实体屏障，有一定的技术防范设施即可。

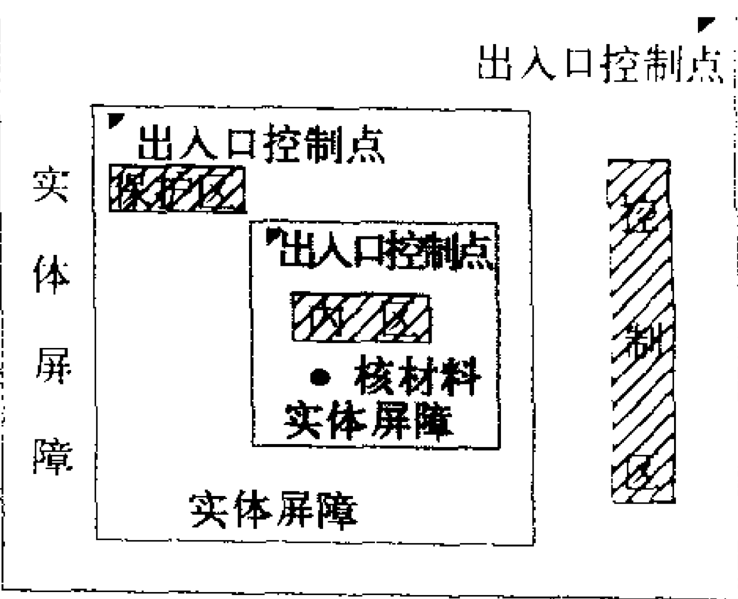
核材料实物保护等级划分表

材料	状　态	等级 Ⅰ	等级 Ⅱ	等级 Ⅲ
钚	未辐照过的	2 kg以上	10 g～2 kg	10 g以下
铀	未辐照过的，U富集度≥20%的浓缩铀	5 kg以上	1～5 kg	10 g～1 kg
铀	未辐照过的，U富集度在10%～20%范围的浓缩铀		20 kg以上	1～20 kg
铀	未辐照过的，U富集度<10%的浓缩铀（不包括天然铀、贫化铀）		300 kg以上	10～300 kg
氚	未辐照过的，以氚量计	10 g以上	1～10 g	0.1～1 g
锂	浓缩锂（以锂计）		20 kg以上	1～20 kg

（撰写：薛伟贤　审订：董柏年）

hecailiao shiwu baohu fenqu

核材料实物保护分区 physical protection sections of nuclear material　在实施实物保护计划时，对存有核材料的建筑物群所划分不同的区域。在不同的区域内，实施不同的保护措施，形成对核材料的多层保护屏障，对人员、物质和车辆进出这些区域要进行控制。对存有核材料的场所，分为要害区（或叫内区）、保护



实物保护区域划分示意图

区和控制区（或叫隔离区）（见图）。要害区在核心，外围为保护区，最外侧为控制区。各区之间有完整的实体屏障加以隔离，人员和车辆须经过通行控制口出入。例如，核动力厂的厂区划为控制区；核岛和常规岛厂房所在地区划为保护区；堆本体和核燃料（包括新核燃料组件和乏燃料）贮存水池等区域划为要害区（内区）。（撰写：薛伟贤　审订：董柏年）

hecailiao shiwu baohu shouquan

核材料实物保护授权　physical protection authorization of nuclear material　对实物保护中每一环节的人员的职权之明文规定。例如，我国对核材料管制实行许可证制度，即核材料使用单位必须具备一定的安全和合法使用条件，经国家核安全监督机构审评合格后颁发许可证。这是国家对该单位的使用授权。持有核材料的单位在内部管理上也应采用授权制度，也即在管理制度上要明确各个管理层次和人员的职责和权利，以及完整的审批制度。例如，批准重要区域的出入人员，批准重要操作的设备、人员、数量和范围，重要的操作程序等，以保证每一个活动都是由具有合法授权人员按操作程序进行，不得有超越职责范围的行为发生，不允许违反操作程序操作核材料的事件发生。

（撰写：薛伟贤　审订：董柏年）

hecailiao shiwu cunliang

核材料实物存量　physical inventory of nuclear material　在某一给定时刻，某核材料平衡区内拥有的按照规定程序利用测量值或导出的估算值所确定的所有批量的核材料总和。

（撰写：陈连仲　审订：李　泽）

hecailiao shiwu pancun

核材料实物盘存　physical inventory taking of nuclear material　为了确定材料平衡区中的核材料存量，由设施定期或在平衡周期期末对全部核材料存量实施实物盘点所进行的活动。通过测量或运用其他已建立的程序来查定在某一材料平衡区内某一特定时刻内的所有核材料量，并编制一个真实存量清单。

（撰写：陈连仲　审订：金惠民）

hecailiao shoufacha

核材料收发差　shipper/receiver difference of nuclear material　对某一批核材料，发方材料平衡区标明的量与收方材料平衡区测得的量之间的差值。（撰写：陈连仲　审订：李　泽）

hecailiao xianyou kucun

核材料现有库存　existing stock of nuclear material　给定日期以前已生产的易裂变材料。对禁产而言是指在《禁产公约》生效以前为军用目的已生产的易裂变材料。现有库存易裂变材料以多种形式存在，包括现役核武器和退役核武器中的核装料，以及作为军用贮存的核武器用易裂变材料。

（撰写：金惠民　审订：严叔衡）

hecailiao yiwai shijian

核材料意外事件　nuclear material incident　核材料在使用、贮存过程，特别是运输过程中，遇到的人们预料之外的，可能会威胁到核材料安全的事故、事件。例如，火灾、交通意外、自然灾害等。另外，在不能明确肯定事件是属于人为破坏，且没有明显的人为破坏的迹象时，往往把这类事件也暂时列为意外事件。在处理意外事件时采取的应急反应措施不同于处理人为破坏事件的措施，前者的着重点在防止核材料受损，后者除了防止核材料受损外，还要抓捕破坏者。事先有效区别人为事件和意外事件，对正确使用应急反应力量是很重要的。（撰写：薛伟贤　审订：董柏年）

hecailiao zhuanhuan shijian

核材料转换时间　conversion time of nuclear material　把不同形式的核材料转换成核爆炸装置用的金属部件所需的时间。转换时间不包括将被转用的材料运输到转换设施所需的时间、组装核爆炸装置的时间或任何后继阶段。目前使用的转换时间估计值如表所示。

估计的制成钚或铀金属部件的核材料转换时间

起始材料形式	转换时间
金属状态的钚、高浓铀或 ^{233}U	7～10天
PuO_2,$Pu(NO_3)_4$ 或其他纯的钚化合物 高浓铀或 ^{233}U 的氧化物或其他纯的铀化合物 U-Pu混合氧化物（MOX）或其他含有钚和铀（$^{235}U+^{233}U \geqslant 20\%$）的未辐照的纯混合物废料中的钚、高浓铀和（或）$^{233}U$ 氧化物或其他不纯化合物	1～3周①
乏燃料中的钚、高浓铀或 ^{233}U	1～3月
铀（$^{235}U+^{233}U < 20\%$）；钍	1年

① 这个范围不是由任何单一的因素决定，但纯铀、纯钚的化合物趋于所列范围的较低限；而混合物和废料则趋于所列范围的较高限。

（撰写：刘大鸣　审订：严叔衡）

hecailiao zhuanyong

核材料转用　diversion of nuclear material　将处于保障监督下的核材料在有关核保障协定禁止的范围内的使用。例如，根据INFCIRC/153型协定，使用核材料制造核武器或其他核爆炸装置，或为了未知的目的（指国际原子能机构无法确定怎样使用或在什么地方使用所转用的核材料）。

（撰写：刘大鸣　审订：李　泽）

H

hecejing

核测井　nuclear logging　通过检测钻孔中地层物质天然放射性分布、或非天然外源性辐射（如诱发辐射、示踪辐射等）分布，来确定井孔周围储层物性的测井方法。核测井的主要内容包括天然放射性测井，外源诱发的辐射测井与同位素示踪测井（见表）。核测井现已与声学测井、电学测井共同构成物探三大测井技术，广泛用于油田、气田、煤田和各类金属矿的勘探和开发。

核　测　井

辐射类型	天然放射性	辐射源			
	通用测井	密封γ源	密封中子源	加速器中子源	核素示踪剂
γ射线	天然γ强度测井 天然γ能谱测井	γ-γ′测井 选择性γ-γ′测井	中子-γ强度测井 中子-γ能谱测井 中子活化测井	非弹性散射测井 快中子活化测井	示踪测井
中子		γ-中子测井	中子—中子测井	中子寿命测井	

（撰写：吕延晓　审订：张培信）

hecha de guoji jishu shouduan

［核查的］国际技术手段　international technical means [for verification]　由国际组织控制核查技术与核查信息的核查方式，是为保证履行国际性军控条约和协定而采取的主要核查

手段之一。在国际性或区域性条约中，承担核查任务的技术机构可能是联合国秘书处的一部分，或者是联合国下属组织中的一个半自治机构，或者是特设的国际性、区域性机构。例如全面禁止核试验条约(CTBT)的核查工作就是由一个特设的国际机构——全面禁止核试验条约组织来承担的。由于核查工作技术性非常强，因此一方面技术先进的国家必然要在国际性或区域性条约的核查技术中起主导作用，但另一方面这些国家又不可能完全公开其先进的国家技术手段，而且并非所有的缔约国都能同意无限制地运用国家技术手段，因此今后对国际性或区域性条约而言，其核查工作将采取国际技术手段与国家技术手段结合，并以国际技术手段为主的方式进行。 (撰写：段占元 修订：叶名兰 审订：唐西生)

hecha de guojia jishu shouduan

[核查的]国家技术手段 national technical means [for verification] 在核查过程中信息的获取过程由某个国家控制的核查方式。它包括三层含义：(1)核查中的信息获取设施由某个国家控制；(2)核查中获取的信息由这个国家控制；(3)核查过程较少依赖被核查国家的配合。“国家技术手段”是美苏在《第一阶段限制战略武器条约》(SALT Ⅰ)谈判中正式形成和采用的。20世纪60年代末，卫星技术的进展使得美苏双方的侦察能力有了根本性的提高，许多军事行动可以有充分把握地加以有效监测，而不必要采用进入对方领土就地侦察的方式。特别是巨大的洲际弹道导弹发射装置及其部署地区、重型轰炸机及其基地、潜艇及其建造厂等都容易被发觉，各自的数量也容易查明。正是在此基础上，美苏在SALT Ⅰ谈判中正式确定采用“国家技术手段”对协议遵守情况进行核查，从而也由此确立了“国家技术手段”在条约核查中的基础地位，这也是“国家技术手段”这一概念首次正式出现在核裁军领域中。目前国家技术手段已成为美俄双边以及国际多边条约中重要的核查技术手段之一。

(撰写：段占元 审订：唐西生)

hecha de lixing shicha

[核查的]例行视察 routine inspection [for verification] 按照国际原子能机构文件INFCIRC/153的第72段的规定，机构进行的例行视察，其目的是：(1)核实报告与记录的一致性；(2)核实协定范围内受保障的所有核材料的位置、标识、数量和组成；(3)核实说明账面存量中不明材料量、收发差及其不确定度的可能原因的资料。按国际原子能机构文件INFCIRC/66/Rev.2第49段的规定，根据情况，例行视察可以包括：(1)记录和报告的检查；(2)通过实物检查、测量和取样，对受保障的核材料的数量进行核实；(3)对基本核设施进行检查，包括对它们的测量仪器和运行特性的校核；(4)对基本核设施和含有受保障材料的研究与开发设施进行运行核查。

(撰写：程徽微 审订：李泽)

hechengya shebei

核承压设备 nuclear pressure retaining components 核设施中执行核安全功能、承受压力和包容放射性物质的容器或设备。核承压设备包括：(1)核动力厂及其他核反应堆中执行核安全功能的承压设备及其支承件如反应堆压力容器、稳压器、热交换器、管道、泵、阀门、贮罐以及堆内构件等；(2)包容反应堆系统的钢制安全壳或混凝土安全壳的钢衬里；(3)核燃料生产、加工、贮存、后处理设施以及放射性废物处理、处置设施中包容放射性物质的承压设备及其支承件等；(4)其他需要严格监督管理的核承压设备。

(撰写：任常平 审订：张健)

hechengya shebei anquan dengji

核承压设备安全等级 safety classification for nuclear pressure retaining components 核承压设备根据特定的用途，执行一项或几项安全功能，将每项功能按其对安全的重要性大小排列成一个先后顺序，然后按照这一顺序将安全功能分组，每组称为一个安全等级。核承压设备安全等级共分为三组，即：安全等级1、安全等级2和安全等级3。安全等级1对安全的重要性最大，安全等级2和安全等级3对安全的重要性则依次减小。例如：核反应堆压力容器、控制棒驱动机构壳体为安全1级，安全壳构筑物及其隔离系统为安全2级，乏燃料池冷却系统的部件为安全3级，它们各自对安全的重要性则依次减小。

(撰写：任常平 审订：张健)

hechengya shebei de jianguan

核承压设备的监管 regulation for nuclear pressure retaining components 指国家对核设施中执行核安全功能、承受压力和包容放射性物质的容器或设备及其支承件的监督管理。各国对核承压设备一般由政府部门或由政府委托专业机构来监管。如美国就由美国核管理委员会遵照美国机械工程师学会(ASME)的锅炉压力容器规范第三篇来审查监管。法国核承压设备由法国核安全当局监管。在德国，核承压设备则由政府部门委托技术监督协会(TüV)来监管。在我国，核承压设备的监管遵照核安全法规HAF0900《民用核承压设备安全监督管理规定》及其《实施细则》HAF0901。核承压设备的监管体系可分为：(1)由国家核安全监管机构独立行使的国家核安全监督；(2)主管部门对核承压设备的核安全检查管理；(3)核电厂营运单位对核承压设备质量保证体系的控制。

(撰写：任常平 审订：张健)

hechengya shebei huodong zige xukezheng

核承压设备活动资格许可证 qualification licenses for activities engaged in nuclear pressure retaining components 国家核安全监管机构或其委托的部门在经过考核或考试合格后颁发给单位或个人的合格证件。受安全监督的核承压设备包括：核动力厂反应堆压力容器、稳压器、热交换器、管道、泵、阀门、贮罐以及堆内构件等；钢制安全壳或安全壳钢衬里；核燃料生产、加工、贮存、后处理设施以及放射性废物处理、处置设施中包容放射性物质的承压设备和其他需要严格监管的核承压设备。

从事核承压设备活动的设计、制造、安装单位必须具备以下条件：保证核承压设备活动质量所需的技术装备、技术能力、检验手段、适用的试验条件和管理水平并有类似活动的经验和良好的质量史；符合国家核安全法规的质量保证大纲，并能得到有效实施，保证所从事的核承压设备活动必须符合国家核安全法规有关核承压设备技术标准的要求、对所进行活动的质量负责，接受国家核安全监管机构的核安全监督检查；并经核安全监管机构考核合格取得该机构颁发的资格许可证后，方可从事相应的核承压设备活动。

从事核承压设备活动的无损检验人员和焊工，由授权的主管部门指定的机构进行试训、考试，并给考试合格的上述

人员颁发合格证，同时向核安全监管机构备案。

（撰写：徐继源 任常平 审订：曹关平 张 健）

hechengya shebei sheji zhizao anzhuang zige xukezheng

核承压设备设计、制造、安装资格许可证 qualification license for design, manufacture, installation of nuclear vessels under pressure 对核电装置及其他核反应堆中执行核安全功能的承压设备及其支承件进行设计、制造、安装活动的授权证书。审查有关单位的资格是实施核安全监督的组织措施。从事核承压设备设计、制造和安装的单位必须取得相应许可证后才能从事有关活动。承压设备及其支承件包括：反应堆压力容器、稳压器、热交换器、管道、泵、阀门、贮罐以及堆内构件、安全壳钢衬里；核燃料生产、加工、贮存、后处理设施以及放射性废物处理、处置设施中包容放射性物质的承压设备及其支承件等。资格许可证申请单位应向主管部门和国家核安全监管机构同时提出书面申请，经国家核安全监管机构核准后颁发相应的资格许可证并发布公告。许可证有效期为5年(参见核承压设备活动资格许可证)。

（撰写：徐继源 审订：曹关平）

hechengya shebei xianchang jianzheng

[核承压设备]现场见证 nuclear pressure retaining components field witness 从事核承压设备的设计、制造、安装、试验、检验、在役检查、维修、退役、迁移和转让等活动各阶段的有关重要工艺过程中，根据需要实施核安全检查的一项内容。由核安全监督员在现场对质量保证监督计划所确定的见证点和停工待检点进行观察或测试予以认可。

（撰写：任常平 审订：张 健）

heci gongzhen ceciyi

核磁共振测磁仪 nuclear magnetic resonance fluxmeter 利用核磁共振效应测量磁感应强度的装置。当原子核磁矩在均匀外磁场中取向不同时，引起能级分裂。此时在垂直于均匀外磁场的方向上加一强度较弱的高频磁场，则在特定频率下原子核会吸收高频磁场的能量，使原子核磁矩的取向改变而发生共振，共振频率与外磁场的强度呈正比关系。如果已知原子核的磁矩，则可通过测量共振频率推知磁场的磁感应强度。该方法的主要优点是测量精度高，可达0.001%。但该方法要求待测场在整个探头体积(约1 cm^3)内要相当均匀。该方法的缺点是不能指示磁场的极性。

（撰写：郭之虞 审订：关遐令）

heci gongzhenpuxue

核磁共振谱学 nuclear magnetic resonance spectroscopy (NMR) 利用具有自旋原子核在磁场作用下对射频电磁波产生共振吸收的谱学方法。同种核在分子中的化学环境，如核外电子、周围化学键、相邻原子核或基团、溶剂、介质等决定其核磁共振谱线位置及其精细结构，因此可用作化合物结构鉴定；而谱线图下的面积正比于共振核的数目，可作为定量分析的依据。该方法具有不破坏样品、分析周期短且较直观等优点，已经成为现代化学结构分析中不可缺少的四大谱学方法(红外、紫外、质谱和核磁共振)之一。伴随着理论、仪器和测量方法等方面的进展以及计算机的应用，核磁共振及其谱学方法正在向生物、医学、材料等科学领域扩展。

（撰写：党淑琴 审订：吕延晓）

heciju

核磁矩 magnetic moment of nucleus 核内所有核子的固有磁矩和轨道磁矩的总矢量和，记作μ。核内第i个核子的磁矩算符表示为

$$\mu_i=(g_s S_i+g_l L_i)\mu_N$$

式中g_s、g_l为核子的g因子，又称回旋磁比率。对于质子，$g_s=5.585\,6$，$g_l=1$；对于中子，$g_s=-3.8263$，$g_l=0$。S，L分别对应自旋及轨道角动量算符，μ_N为核磁子，常作为磁矩的单位。$\mu_N=\dfrac{e\hbar}{2m_p c}=5.05078\times10^{-27}$ J/T。这样，具有A个核子的原子核磁矩算符即为

$$\mu=\sum_{i=1}^{A}\mu_i=\sum_{i=1}^{A}(g_s S_i+g_l L_i)\mu_N$$

通常人们定义核磁矩的数值为其在特定Z轴上投影的最大值，亦即磁量子数为核角动量量子数I时的平均值μ_I

$$\mu_I=g_I I\mu_N$$

式中g_I称原子核的g因子。g_I可由核磁共振法测量。原子核具有空间反射对称性，核磁四极矩为零，因此，核磁偶极矩是最重要的。

（撰写：夏宗璜 审订：叶沿林）

hedaji mubiao

核打击目标 target of nuclear strike 核武器打击的对象。根据不同标准，可以将核打击目标划分成多种类型：按其作用和地位，可分为战略目标和战役战术目标。对战争进程有重大影响的目标如战略导弹基地、国家指挥中心、工业基地及政治经济中心等属于战略目标，而战场上的军事目标，如部队集结地等属于战役战术目标。按照其抗压能力，还可以分为软目标和硬目标。城市、工业基地、军事基地或港口等地面或浅地表面目标抗压强度不高，属于软目标，而导弹发射井及地下指挥中心等有较强防护能力的目标，属于硬目标。按照目标的大小，可以分为点目标和面目标；按目标性质不同，还可以分为军事目标和非军事目标。核打击目标的选择在核武器作战运用中具有重要意义，它不仅取决于一个国家拥有的核武器的数量和质量，还与该国家奉行的核战略密切相关。比如20世纪五六十年代，由于核武器的精度不高，美国尚不具备打击敌对方导弹地下井及核武器库等军事目标的能力，在其大规模报复战略思想的指导下，就以摧毁敌对方的城市和工业、经济中心为目标。随着分导式多弹头技术的出现和导弹制导技术的发展，弹头命中精度大为提高，美国逐步提出了“避开城市”和“打击军事力量”的战略思想，以敌对方军事目标，特别是战略核设施为其首次打击的目标。

（撰写：段占元 修订：叶名兰 审订：唐西生）

hedantou

核弹头 reentry vehicle bearing nuclear warhead 弹道导弹中携带核战斗部的弹头。核弹头由核战斗部和它的承载壳体组成，可能还带有姿态控制系统和突防装置。多弹头的母舱还有子弹头释放机构。弹头位于导弹的前端部，在导弹主动段末与导弹分离并进入被动段弹道，此后它将重返(再入)地球大气层，因此必须有相适应的防热层。美国称弹头为再入飞行器，又称核导弹的有效载荷，以MK标记，而核战斗部则以W标记。例如W 88/MK 5即指装载核战斗部W 88的核弹头MK 5。

（撰写：郑绍唐 审订：俞大光）

hedantou zairu yaoce

核弹头再入遥测 reentry telemetry for nuclear vehicle 核弹头重返大气层到触地(水)飞行区间的遥测。核弹头要测量的工作参数绝大部分在这个区段(再入段)。因为再入段通常都存在黑障区，而重要参数又多在黑障区以下，所以这种遥测有其本身特点。其一是难以采用地面跟踪天线，因黑障区丢失跟踪目标后捕获占去了宝贵时间；其二是常需采用记忆重发技术，使在黑障区中丢失的信息能择其重要的通过重发收回；其三是往往需要测触地(水)情况，考核触发引信工作的有效性，而这是特快(微秒级)信号。

(撰写：俞大光　审订：王铁铮)

hedao

核岛 nuclear island (NI) 核电装置中核蒸汽供应系统(含设备)及其配套设施和它们所在厂房的总称。核岛的主要功能是利用核裂变能生产蒸汽。在压水反应堆核电装置中，核蒸汽供应系统包括反应堆冷却剂系统、安全系统和各种核辅助系统。核蒸汽供应系统的配套设施有供电和配电系统，一般通信和通风空调系统，一般服务系统如照明、气体、饮用水、除盐水和污水处理系统等。核岛厂房主要包括反应堆厂房(安全壳)、燃料厂房、控制厂房、核辅助厂房、核服务厂房、排气烟囱、电气厂房和应急柴油发电机厂房等。在有些核电厂设计描述中，将核蒸汽供应系统视作核岛主体，而将核岛主体以外的配套设施称作“核岛配套设施”(Balance of Nuclear Island, BONI 或 BNI)。　(撰写：侯忠松　审订：刘国明)

he de ji oucha

核的奇偶差 nuclear odd-even difference 原子核的性质随核子数目的奇或偶产生的变化。偶—偶核指原子核有偶数个中子和偶数个质子。偶—偶核基态的自旋为零，宇称为正。奇质子核是奇数个质子和偶数个中子组成的核。奇质子核基态的自旋和宇称由非配对的奇质子决定。奇中子核有奇数个中子和偶数个质子，基态的自旋和宇称由非配对的奇中子决定。奇—奇核有奇数个中子和奇数个质子，基态的性质(自旋和宇称)由这两个非配对的中子和质子决定。核的奇偶差导致核的结合能的奇偶差，即通常所说的奇偶质量差。在奇 A 核(即质量数 A 为奇数的核，也即奇质子核和奇中子核的统称)中，由于非配对核子的影响(即阻塞效应)，奇核子系统的对能将减小，从而导致奇 A 核的能量高于邻近偶—偶核的能量。

(撰写：许甫荣　审订：卢希庭)

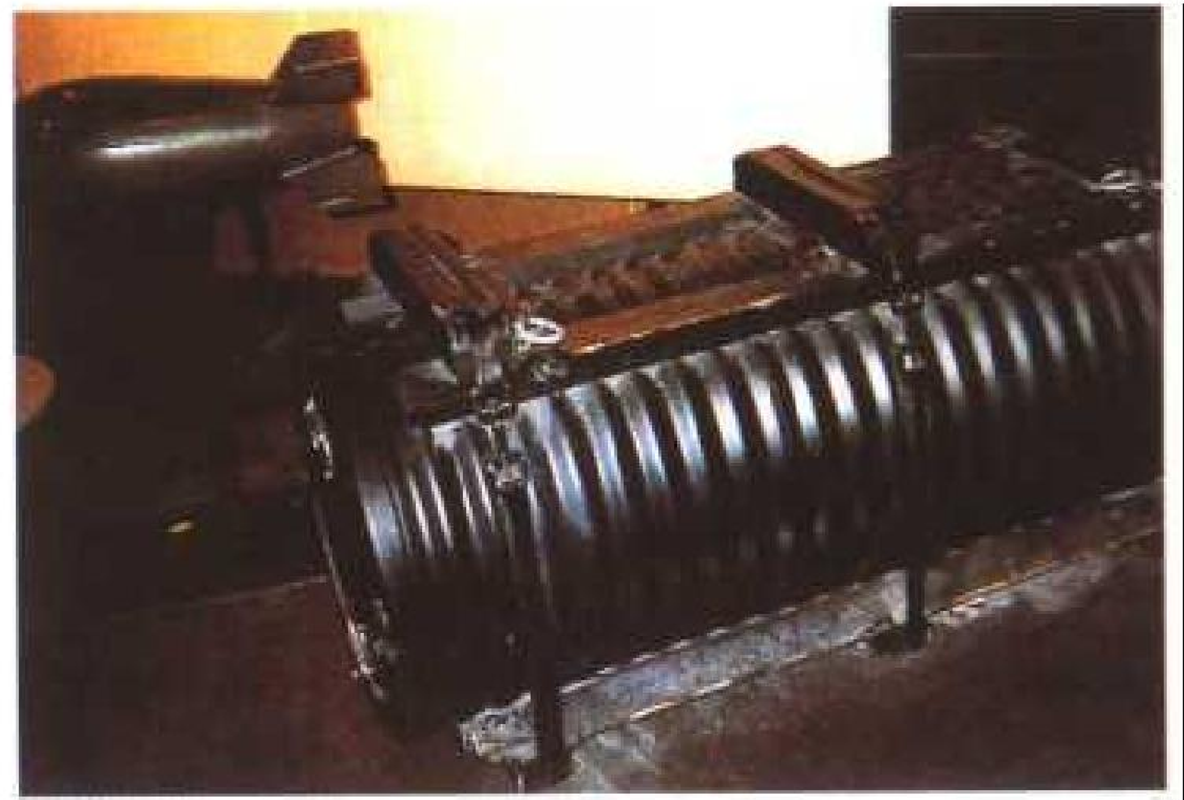
he de qiaoceng moxing

核的壳层模型 nuclear shell model 一种类似于原子壳层结构的核结构模型，也叫独立粒子模型。核的壳层模型认为，原子核中的每个核子都在平均场中运动，这个平均场是所有其他核子对一个核子作用场的总和。单个粒子在核中的独立运动是用 Pauli 原理解释的。因为当两个核子发生碰撞使核子状态发生改变时，根据 Pauli 原理，这两个核子只能去占据未被核子所占的状态。而能差很大的激发率是很小的，于是大部分填充在低能级中的核子将呆在它所在的单粒子态中，好像在作独立粒子运动一样。用介乎球形方势阱和三维各向同性谐振子势之间的势场模拟核内平均场，再加上一项强自旋—轨道耦合，给出了正确的幻数。壳层模型不仅仅成功地给出了幻数，它最大的成功在于能给出原子核基态的自旋和宇称。它也能很好地解释同核异能素分布规律，在核磁矩方面也取得了定性的成功，算得的质子数靠近幻数的奇 A 核的电四极矩与实验结果定性相符。

(撰写：高春媛　审订：卢希庭)

hedilei

核地雷 nuclear land mine 装有核爆炸装置的地雷(见图)。亦称原子爆破装置，是战术核武器的一种。主要利用核爆炸形成地形障碍(如弹坑、堆积物)和放射性污染来阻滞敌军行



美国国家原子博物馆展出的中型原子爆破装置(MADM)

图出处：Gibson J N. Nuclear Weapon of The United States. Schiffer Publishing Ltd. 1996.

动，特别是制止敌坦克群的行动或直接杀伤敌军。也可埋设到敌军后方的军事设施区内，利用定时器或遥控指令引爆，摧毁敌方目标。为了防止意外事故发生，核地雷一般装有安全密码装置。在美国的核武库中曾有过五种型号的核地雷，它们是 MK-7，W-31，W-30，W-45，W-54。前三种已于 20 世纪 60 年代退役，后两种服役时间较长。其中 W-45 为中型原子爆破装置（MADM），威力为 15 ktTNT，重量为 177 kg，可由吉普车或直升机运输，工兵分队埋设，1965 年服役，1987 年退役；另一种 W-54 为特种原子爆破装置(SADM)，威力 0.1～1 ktTNT，重量为 74 kg，可以随身携带，由特种部队埋设，1964 年服役，1992 年退役。

(撰写：竺家亨　唐信青　审订：王连奎)

hedianhuo

核点火 nuclear ignition 按设计要求在一定时刻放出一定数量中子引发原子弹或氢弹初级中裂变系统的链式裂变反应的动作过程。原子弹或氢弹初级在内爆过程中经历着从次临界到超临界又到次临界的状态变化，只有按设计要求在与一定状态相对应的一定时刻注入中子，武器的威力才能达到设计要求。由于内爆过程中从临界到最大超临界的时间一般只有 2～3 μs，对注入中子的时间精度要求在零点几微秒。先于或晚于这个时刻点火分别叫过早与过迟点火。过早或过迟点火都将使武器的威力达不到设计值，甚至爆炸失败。由于游散中子的存在和不按设计要求时刻注入点火中子的情况可能发生，裂变爆炸都存在一定的过早或过迟点火概率。核点火必须有足够数量的中子。因为点火中子有被原子核俘获、漏失到系统之外和引起裂变的各种可能性，在引起裂变的情况下，裂变次级中子也有被俘获或漏失，使裂变链中断的可能性。点火中子的数量必须使形成无限裂变链的概率接近于 1 (参见裂变爆炸过早点火)。　(撰写：郑绍唐　审订：俞大光)

hedianhuo bujian

核点火部件 nuclear ignition component 按预定程序适时提供一定产额中子的部件。核武器用的点火部件有脉冲中子

管、热核激发器，钋—铍中子源等。脉冲中子管又叫中子发生器（参见核武器用中子发生器）。热核激发器用氘或氘氚的固体化合物制成，放在裂变材料的中心，利用内爆时中心附近达到的高温、高密度触发氘—氘或氘—氚聚变反应产生中子。热核激发器的优点是体积小、可靠性较高、产生中子的时间与最大超临界度附近状态自动配合，但它必须放在内爆冲击波的会聚中心，对内爆冲击波的聚焦要求高。钋—铍中子源也放在裂变材料的中心，核武器用的钋—铍中子源是一种调制中子源，^{210}Po 与铍源先分开放置，调制时利用中心附近的会聚冲击波引起的射流和界面不稳定性效应使 ^{210}Po 与铍均匀混合，^{210}Po 放出的 α 粒子与铍反应产生脉冲中子。对于枪法原子弹，^{210}Po 与铍源先分别放在两块分开放置的裂变材料上，当它们合拢时钋与铍就混合在一起放出中子。由于 ^{210}Po 放出 α 粒子的半衰期只有 138.4 d，使用时必须临时放入，很不方便。它是美国早期用过的核点火中子源。

（撰写：郑绍唐　审订：俞大光）

hedianchang

核电厂　nuclear power plant　又称核电站。用铀、钚等作核燃料，将它在裂变反应中产生的能量转变为电能的发电厂。核电厂主要以反应堆的种类相区别，有压水堆核电厂、沸水堆核电厂、重水堆核电厂、石墨水冷堆核电厂，石墨气冷堆核电厂、高温气冷堆核电厂和快中子增殖堆核电厂等。核电厂由核岛（主要是核蒸汽供应系统）、常规岛（主要是汽轮发电机组）和电厂配套设施三大部分组成。核燃料在反应堆内产生的裂变能，主要以热能的形式出现。它经过冷却剂的载带和转换，最终用蒸汽或气体驱动涡轮发电机组发电。核电厂所有带强放射性的关键设备都安装在反应堆安全壳厂房内，以便在失水事故或其他严重事故下限制放射性物质外逸。为了保证堆芯核燃料在任何情况下得到冷却而免于烧毁熔化，核电厂设置有多项安全系统。（撰写：杜圣华　审订：张维忠）

hedianchang anquan

核电厂安全　safety issue of nuclear power plants　核电厂发生危及厂区人员、公众和环境的事故的风险所在及其防范措施。

核电厂除常规发电厂的安全问题外，还必须着重关注核安全问题。核电厂具有良好的安全防护和安全记录，但也具有潜在的放射性危害。核电厂安全是一个受国内外密切关注，具有巨大国际影响的问题。

核电厂利用其反应堆内核燃料裂变时所产生的热能发电，同时产生大量的放射性裂变产物和活化产物。这些物质都被严密地封闭在多道屏障内。如果堆芯中燃料过量破损甚至熔化，放射性物质泄出，就会危害公众健康，污染环境。因此反应堆按纵深防御的原则设置预防事故和缓解事故后果的措施以防止放射性物质的外泄。核电发展一开始就把“建立并保持一种有效的防御系统，以保护人员、社会和环境免受放射性危害”作为核安全的总目标。世界各国普遍通过许可证制度来监管核电厂的安全。核电厂营运单位必须在安全分析报告中证明所申请建造和运行的核电厂的安全性符合核安全法规和标准的要求，对所有设计基准事故的分析结果必须满足验收准则。在正常情况下，核电厂向外排放的放射性废物是很少的。对厂区人员、公众和环境的影响也极小。核电厂具有良好的安全记录，截至 1999 年底近一万个堆·年核电厂运行历史中，仅发生过二次严重事故——美国三里岛核电厂事故和前苏联切尔诺贝利核电厂事故，而且仅后者发生了大量放射性物质外泄，对工作人员、公众和环境产生放射性危害。

核电厂也和其他常规发电厂一样，可能因设计不当、设备故障，人因失误或其他外来因素造成各种事故。三里岛和切尔诺贝利事故说明堆芯严重破坏，甚至发生大量放射性物质外泄的潜在风险是存在的，其影响甚至可能超越国界、成为国际社会广泛关注的问题。三里岛和切尔诺贝利事故后，国际核工业界对核电厂的安全进行了认真的总结和改进，对现有在役并将继续运行的水堆核电厂的安全情况进行了评估，其反应堆堆芯严重损坏的概率低于 10^{-4} 次/(堆·年)，符合或接近于近期安全目标，对那些不符合此目标的核电厂则要求采取改进措施。对今后建造的核电厂则要求符合国际公认的核安全原则，其堆芯严重损坏的概率应低于 10^{-5} 次/(堆·年)。新的一代具有固有安全性的反应堆研究开发工作也在加紧进行中。（撰写：董柏年　审订：潘自强）

hedianchang anquanxing

核电厂安全性　safety of nuclear power plant　核电厂保护人员、群众和环境免遭辐射危害的性能。核动力的最大特点是其反应堆内伴随着裂变能量的释放，产生出辐射射线和放射性物质。如果堆芯中燃料破损甚至熔化，过量放射性物质泄出，就会危害群众健康，污染环境。因此核电发展一开始就把“建立并保持一种有效的防御系统、以保护人员、群众和环境免受放射性危害”作为核安全的总目标。近年来风险度逐渐成为对新一代核电厂安全性的考核指标，要求一座核电厂发生严重堆芯损坏的概率降到低于 10^{-5} 次/(堆·年)，发生放射性大量释放的概率降到低于 10^{-6} 次/(堆·年)。如果这一要求得以实现，核电厂对周围居民健康造成的额外风险只是其他各类风险总和的千分之一。世界各国普遍通过许可证制度来监管核电厂的安全，同时，核电厂营运单位均要按照核安全法规建立起完善的核安全管理体系。世界核电发展历史已经表明核电是安全、清洁和经济的。随着安全文化的提高，核电厂运行安全管理体系的持续改进以及核电安全技术的发展，必将进一步提高核电安全水平。

（撰写：张育曼　审订：钱锦辉）

hedianchang bitouzi

核电厂比投资　specific investment of nuclear power plant　核电厂每千瓦装机容量的固定资产投资。有基础价比投资、固定价比投资和建成价比投资三种表征方式。基础价（又称隔夜价，overnight cost）比投资对应于用经济分析当日的不变价来计价的固定资产投资；固定价（又称合同价）比投资对应于基础价固定资产投资加建设期间浮动加价；建成价比投资对应于基础价固定资产投资加建设期间浮动加价和建设期间贷款利息。降低核电厂比投资的主要措施是：(1) 通过加大核电装置容量和一厂多装置来提高规模经济效益；(2) 实现国产化、标准化、系列化和批量化；(3) 强化项目管理，有效地实施质量、进度和投资三大控制。（撰写：温鸿钧　审订：程　萍）

hedianchang bufuhexiang kongzhi

核电厂不符合项控制　non-conformance control in nuclear power plant　为控制不满足规定要求的物项，防止其误用或误装于核电厂而制定并实施的控制措施。不符合项是指性能、文件或程序方面缺陷，因而使某一物项的质量变得不可接受或不能确定。必须以书面程序规定对不符合项的控制措施，包括：(1) 用标记、标签或实体分隔的方法来标识不符合项；

(2) 防止不符合项进入下一步工序、交货或安装的措施；(3) 不符合项的记录和报告方式；(4) 对不符合项进行审查的责任和对不符合项进行处理的权限，确定拒收、修理、返工或不加修改地接受的原则；(5) 如要求不加修改地接受或修理不符合项，必须事先向买方提出申请，必要时向国家有关部门报告；(6) 按合适的程序对修理和返工的物项重新检查。

（撰写：徐仁楠　审订：高鹏飞）

hedianchang caigou kongzhi

核电厂采购控制　nuclear power plant procurement control　核电厂营运单位为确保其所采购的物项、服务或其组合的质量，对采购活动所实施的组织和管理。它分为核电厂设计、制造、建造和调试期间的采购以及核电厂运行期间的采购。为实施核电厂的采购控制，要求营运单位或其项目管理单位、设计单位、供应方、工程服务公司、施工单位和参与核电厂建设的其他单位分别制定与以下方面相关的程序：(1) 采购计划的制定；(2) 采购文件的编写、审查、分发和变更的管理；(3) 对物项和服务供应方的选择；(4) 评标和签订合同；(5) 买方对供方工作的评价；(6) 买方的验证活动；(7) 不符合项的管理和纠正措施；(8) 物项和服务的验收；(9) 质量保证的记录等。

（撰写：黄建华　审订：钱锦辉）

hedianchang changqu

核电厂厂区　site of nuclear power plant　具有确定的边界，在核电厂营运单位有效控制下的核电厂所在地域。核电厂按功能分成：主厂房区，包括核岛和常规岛厂房；三修区，包括机修、电修、仪修厂房及室外场地；脏物区，包括弱放射性废液处理厂房、放射性固体废物暂存库、放射性机修、特种车库等；仓库区，包括设备材料库、油库和化学试剂库等；厂前区，包括办公楼、食堂、培训中心、接待展览中心、警卫营房、公安楼、消防站和汽车库等；开关站；扩建工程预留场地；厂区出入口，包括人流出入口和货流出入口；围墙等。核电厂厂区按实物保护要求，由外向内依次分为控制区、保护区和要害区三个区域，其保安要求依次加强。控制区用核电厂厂区周界的单层铁丝网形成一个封闭区域。保护区边界一般定在主厂房区（含核岛和常规岛厂房）外部周界上，本区域由双层围栏组成。要害区位于保护区内，沿核岛厂房周界设置屏障，此屏障一般以建筑物墙体为主。通常说的核电厂厂区指的是上述实物保护控制区以内的地域，实际上的核电厂厂区还包括核电厂地产边界（或征地范围）以内的地域。

（撰写：侯忠松　审订：刘国明）

hedianchang dingqi shiyan

核电厂定期试验　periodic test of nuclear power plant　按运行技术规格书和定期试验监督大纲的要求，对核电装置、系统、设备或构筑物所定期进行的性能参数的测定或其可用性的检查。试验的目的是验证核电厂的运行是否符合运行技术规格书所规定的运行限值和条件，核电装置是否仍有足够的安全裕量，系统、设备或构筑物是否处于运行技术规格书所要求的可用状态，确保有故障的设备或低于标准的性能不致长期隐匿。

（撰写：刘道和　审订：钱锦辉）

hedianchang feiwu

核电厂废物　waste from nuclear power plant　又称核电废物。核电厂的运行废物、检修废物、意外事件废物和退役废物的统称。运行废物指核电厂正常运行时产生的废物，通常其化学和放射性核素的组成比较稳定，大部分废物属低放或中放废物，主要是中子活化产生的放射性核素。检修废物指核电厂日常检修产生的废物，包括擦拭和去污用的材料和工具、更换下来的零部件、电缆和阀门等，多数为低放废物。意外事件废物指在发生意外事件（或事故）时产生的废物，其产生量和放射性水平通常要超过正常运行时所产生的废物。退役废物指退役过程产生的废物，包括系统和设备去污、系统和设备拆除和解体、建筑物去污和拆除所产生的废物以及环境整治中所产生的废物，它们中大部分为免管废物、极低放废物和低放废物，但也有少量高放废物，如拆下的堆芯部件。

（撰写：孙东辉　审订：王显德）

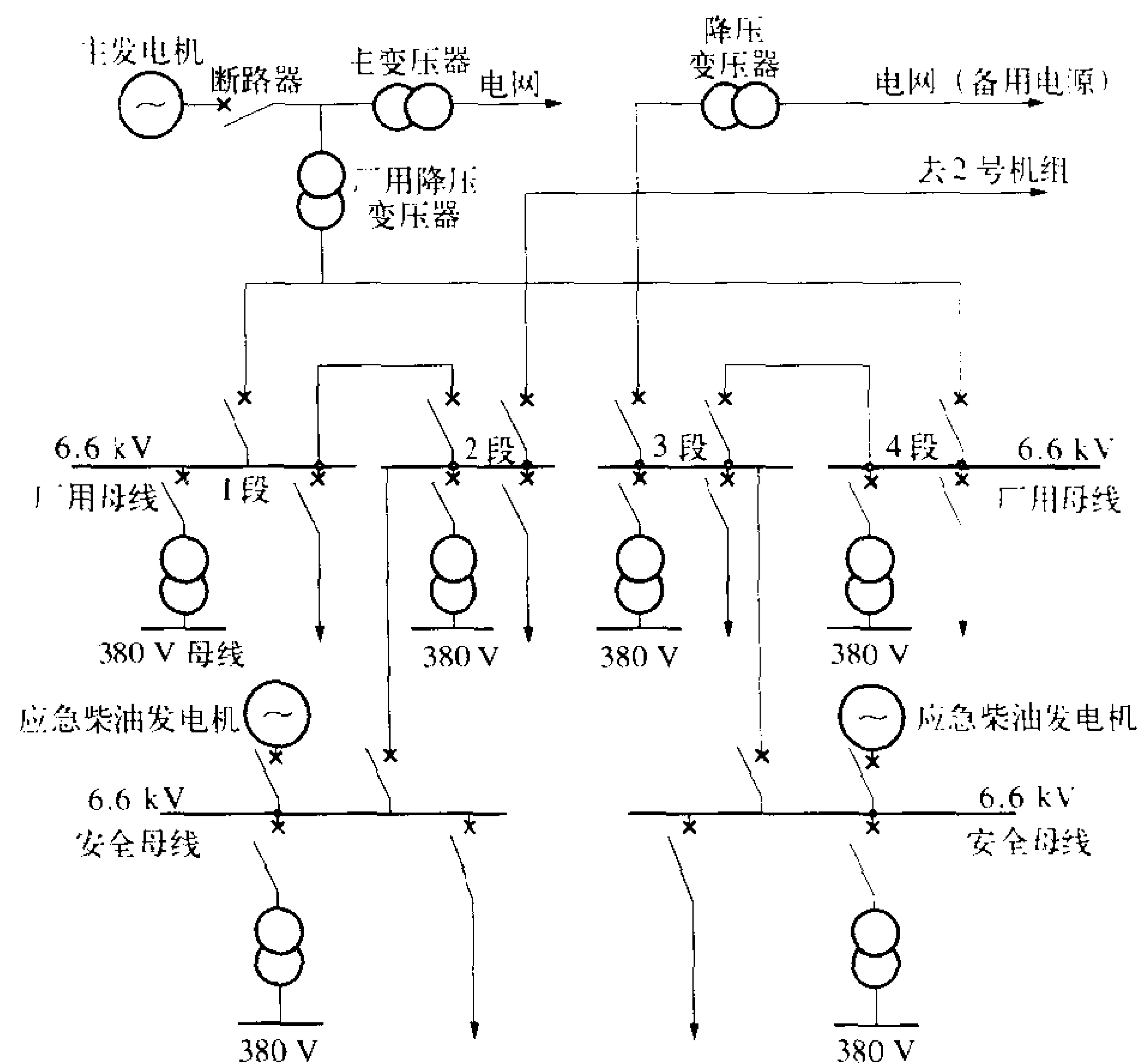
hedianchang fuhe yinzi

核电厂负荷因子　load factor of nuclear power plant　给定时间内核电厂的实际发电量与按额定负荷运行所能发出的电量之比，用百分数表示。

（撰写：池志远　审订：钱锦辉）

hedianchang gongdian xitong

核电厂供电系统　power supply system of nuclear power plant　核电厂正常运行和事故情况下必需的电源系统。核电厂供电系统分为正常供电系统和应急供电系统。正常供电系统必须有两路以上的外电源，而且彼此应在实体上相互独立和分隔。正常供电系统在核电厂启动和停运时使用。两路厂用电源分别接到数段厂用母线上。当一路正常电源失电时会自动切换到另一路厂外电源。另外还须设置至少两段厂用电安全母线



核电厂厂用电主接线图

（见图）。核电厂的安全系统及与安全相关的用电设备都接在此安全母线上。每段安全母线上接有一台应急柴油发电机组作为应急电源。核电厂的各种检测仪表、控制、信号和开关等都配备直流电源。采用多路配置，每一路至少包含一组蓄电池、一个蓄电池充电器和配电设施。新一代压水堆核电厂需考虑厂内失去全部交流电事故（参见全厂断电事故），为此，应设置非1E级的替代交流电源，为了多样化可引入一台燃气轮机发电机组。

（撰写：杜圣华　审订：张维忠）

hedianchang gongshui xitong

核电厂供水系统 water supply system of nuclear power plant 在核电厂正常运行和事故工况下提供所需水源的系统。核电厂的用水主要有循环冷却水、工艺系统补水、消防水和生活用水四类。根据不同的厂址条件，循环冷却水可能是海水、河水或水塔冷却的循环水。它主要用于冷却核电厂的主凝汽器和排出工艺设备的热量。循环冷却水系统通常包括核电厂的取排水构筑物。需在反应堆事故工况下运行的重要厂用水系统应按核安全3级、抗震1类设计。重要厂用水主要用于冷却一回路的设备冷却水、应急冷冻机组和应急柴油发电机组。工艺系统补水、消防水和生活用水的水源均为淡水，主要从河流或水库取水，然后经水厂净化，除去有机物和悬浮物等杂质，向上述三种不同的用水系统供水。工艺系统的补水由电厂专设的造水车间制备，其中反应堆冷却剂系统和给水—蒸汽回路的补水水质要求极为严格。

（撰写：张维忠　审订：杜圣华）

hedianchang jianshe jindu kongzhi

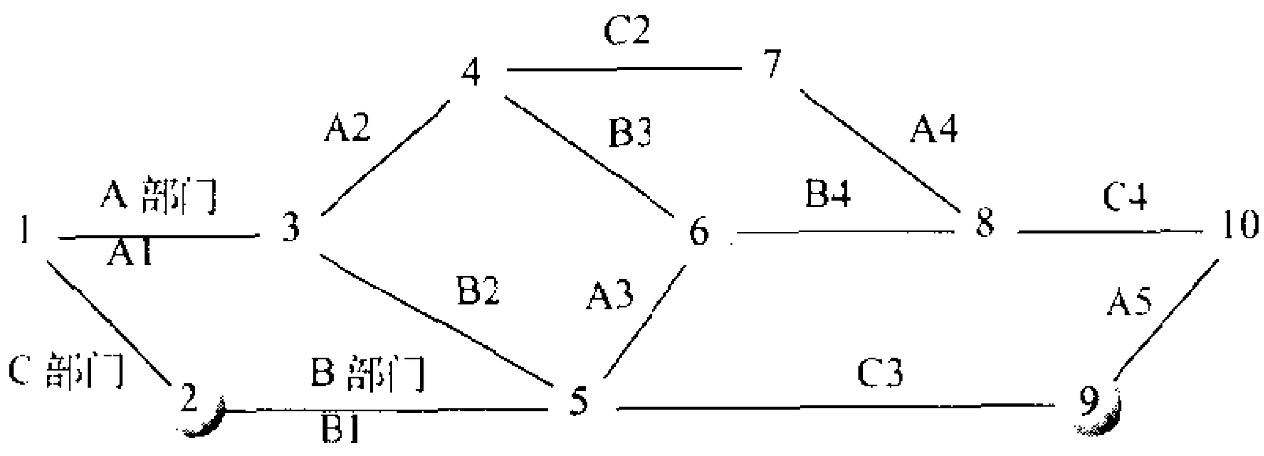
核电厂建设进度控制 scheduling in construction of nuclear power plant 根据核电厂建设各阶段的任务、资源（人力、资金、材料和时间）状况、工作顺序编制进度表，并按此进度表对核电厂建设项目的进度实施控制。它既是项目管理的基本任务之一，也是建设费用控制的关键手段之一，更是相互交错的项目活动能够协调进展的保证。核电厂项目进度实行分级控制，进度计划也因之分为若干个层次：(1) 一级进度计划，也称里程碑进度表，它包含了设计、制造、施工、安装、调试、安全分析报告等50多项（有的更多）重要活动，还包括合同签订、浇灌第一罐混凝土、安全壳穹顶吊装、反应堆一回路系统水压试验、反应堆装料等10多个里程碑日期；(2) 二级进度计划是根据一级进度表对建设全过程编制的设计、采购、施工、安装、调试等活动的协调一致的进度表，它覆盖了约2000项活动；(3) 三级进度计划是承包商根据业主的二级进度表制定的对设施、系统、设备的现场总工作进度计划，它内容详尽，实际上是一个将项目任务、工种及合作伙伴之间接口和相互依赖关系都表示出来的关键路径网络；(4) 四级进度计划是承包商编制的现场详细进度表，是三级进度表的局部放大，多为六个月、三个月或一个月的滚动计划；(5) 五级进度计划多为作业队的周计划进度表。项目经理，在控制项目进度的种种偏离时，通过项目进度报告、协调会或其他形式，经常要改变资源分配，变更某些逻辑关系，加快某些作业进程，将偏离段前面或后面任务提前完成，或者不得不推迟目标日期。所以进度表，实际上处于不断更新的过程中。（撰写：刘国明　审订：范 刚）

hedianchang jianshe jindu kongzhidian

核电厂建设进度控制点 milestones and key dates in construction of nuclear power plant 核电厂建设进度表中必须加以控制的一些关键事件和关键决策点。控制点之间是建设活动的某些阶段，此阶段的活动对到达控制点时应完成的任务有明确的要求，以满足项目建设的整体需要和其他相关活动在此点的接口要求。这些控制点在一级进度表上称为里程碑或关键日期。主要有：核岛筏基浇灌第一罐混凝土（初步安全分析报告和环境评价报告通过、建造许可证发放、核电厂正式开工建造的标志）；安全壳穹顶吊装（系统和设备安装工作开始的标志）；一回路系统水压试验（核岛主、辅系统和设备安装基本就绪、第二道安全屏障功能验证的标志）；安全壳密封试验（第三道安全屏障功能验证的标志）；热态功能试验（核岛所有安装工作已收尾，用主泵加热一回路到热停堆状态，调整各系统设备，使之达到运行特性要求，验证运行规程和运行人员演练）；反应堆首次装料（最终安全分析报告和环境评价报告通过、装料批准书颁发后进行首次装料）；首次临界（反应堆首次产生核裂变反应，通过首次临界测试堆芯物理参数和特性，测试控制保护系统功能）；并网发电（常规岛调试完成和堆芯物理试验后，核电厂开始功率运行、逐级提升功率、完成功率下各项试验、并网发电）；验收（核电厂达到额定功率并达到各项指标试运行后，按规定程序进行验收）；核电厂投入商业运行。（撰写：刘国明　审订：范 刚）

hedianchang jianshe wangluo jindu

核电厂建设网络进度 net work schedule for construction of nuclear power plant 又称关键路径网络。将项目任务、工种、合作伙伴之间的接口和相互依赖关系都表示出的一体化详细项目进度表（见图）。这种进度表是制定项目计划、安排



简单的核电厂建设网络进度

Ai、Bi、Ci—各部门进行的活动；①～⑩—里程碑（接口）

进度和对项目进行控制的主要工具。用关键路径法（critical path method，CPM）软件，只要将一项活动或任务、活动开始和结束处的约束条件、持续时间和相互联系输入，就能绘制出复杂的项目网络进度表，它能详细显示出全部参与单位的参与情况和任务在时间上的分段情况，并能分析和显示出决定项目结束日期的路径，即关键路径。可根据该网络进度表绘制出各级进度表。

（撰写：刘国明　审订：范 刚）

hedianchang jingjixing

核电厂经济性 economic competitiveness of nuclear power plant 以若干经济、财务指标表征的核电厂的经济效益特性和经济竞争力。衡量指标主要包括电厂比投资（每千瓦造价）、单位发电成本（每千瓦时发电费用）和投资报酬率。主要用于反映和评价核电厂建设和运行的经济效果。电厂比投资的高低与设备设计和制造方式、工程组织管理模式、建设周期长短、电厂股权构成和贷款融资条件有关。它还决定了发电成本中的折旧费和财务费用水平。单位发电成本取决于核燃料采购、乏燃料处理、运行维修费用、折旧期限、财务费用以及负荷因子的高低。投资报酬率指电厂股东的投资与获得的报酬两者之比率，代表了电厂营运所获得的净利润抵销资本投入后的净收益水平。世界各国核电厂多年统计资料表明，大多数核电厂与燃煤电厂相比，前者比投资高但运行费用低。在远离煤炭供应基地的地方，核电厂单位发电成本低于燃煤电厂。我国核电目前尚在发展初期，设备进口的比重较大，其单位发电成本只是在东南沿海地区与同规模燃煤电厂可以相比。（撰写：岳林康　审订：钱锦辉）

hedianchang kekaoxing

核电厂可靠性 reliability of nuclear power plant 核动力装置不发生非计划的与电网解列而持续并网运行的能力，也即核动力装置实现持续可靠地向电网供电的能力。衡量核电厂可靠性的主要统计指标有下列三个：可用因子、容量因子和负荷因子。三者考核的着重点略有不同。可用因子（时间可用率）只考核核动力装置并网时间，一般在采购招标书中用作供货装置的可靠性指标。后两项指标考核核动力装置额定容量是否得以充分利用。在计算负荷因子时，不论是起因于电厂还是起因于电网造成的发电量损失都要扣除，它与发电成本直接相关。容量因子（能量可用率）则只扣除起因于电厂的发电量损失，在很大程度上是对电厂运行和维修质量的度量。“一个换料周期内无故障运行”是指核动力装置换料重新并网后直至该换料周期末都不发生与电网解列事件。这是营运者对核电厂可靠性追求的目标。

（撰写：钱锦辉 审订：陈叔平）

hedianchang keyong yinzi

核电厂可用因子 nuclear power plant availability factor 又称核电厂可用率。给定时间内核电装置并网发电的小时数与这段时间内的日历小时数之比，用百分数表示。

（撰写：池志远 审订：钱锦辉）

hedianchang peitao sheshi

核电厂配套设施 balance of plant (BOP) 核电厂中核岛和常规岛以外的配套建筑物、构筑物及其设施的统称。它包括：辅助核厂房，如废物处理辅助厂房、废液贮罐厂房、废物暂存库、空筒库、放射性机修和去污车间、特种车库和安全厂用水泵房等；生产辅助厂房，如机加工车间、铆焊车间、电修车间、仪修车间、除盐水厂房、辅助锅炉房、燃油贮罐和油泵房、制氢站、制氯站、空气压缩机房、海水循环泵房、消防水泵房和消防水池、保安楼和应急指挥中心等；厂前区建筑物，如厂区警卫室、办公楼、接待展览中心、汽车库、食堂、倒班人员宿舍、警卫营房等；仓库类建筑物，如设备库、电气仪表和劳保用品库、材料库、危险品和化学试剂库等；厂区附近建筑物，如淡水厂、厂区污水处理站、截洪沟、公安楼等；厂区工程设施，如厂区道路和停车场、围墙、护堤、室外管线和管沟、循环冷却水和安全厂用水取排水工程构筑物等；厂外工程设施，如淡水取水泵房、淡水输水管线、厂外专用道路、通信线路、专用码头、消防车库、汽车修理车间、区域加油站等；环境监测工程设施，如气象站、辐射监测站、环境实验室和废液监测站等；生活区及其他有关建筑项目。在 CANDU 型重水堆核电厂中，将汽轮发电机组及其辅助设施均划归核电厂配套设施范围内。

（撰写：侯忠松 审订：刘国明）

hedianchang shangwang dianjia

核电厂上网电价 grid price of nuclear power plant 核电厂供电给电网的价格。即总发电量中扣除了厂用电量、送到电厂输出变压器高压侧的供电价格。根据国家有关规定，并采用“确保还本付息，合理利润”的上网电价制定原则：在还贷期内，资金安排应满足还本付息的需要，即在还贷期内应主要根据资金来源和还贷条件测算上网电价；在整个经济寿期内，应符合财务内部收益率和资本金收益率的要求。

（撰写：岳林康 审订：程 萍）

hedianchang sheji kongzhi

核电厂设计控制 nuclear power plant design control 核电厂业主和项目管理单位或设计监理单位根据设计任务书、设计合同及相应的规程、规范对核电厂建设各阶段设计进行的质量、进度的控制以及各部分设计接口的协调。设计文件的质量和提交进度对建设各阶段的影响很大，必须根据不同情况进行有效控制，主要有：建立必要的工作程序，规定各单位出版设计文件的格式、编号、图例以及相应审查、修改的规则；根据建设各阶段进度安排各类设计文件的交付时间并写入合同，而且规定设计方定期提交的文件图纸目录、出版清单；协调各单位的资料交接，通常一开始便建立接口手册，规定各接口数据交换、反馈的内容和时间；催促设计文件的按时提交、安排审查、及时反馈审查意见、落实修改情况；及时审核、转达土建、安装、调试以及性能保证期间提出的设计修改要求，跟踪设计修改；催交、收齐、整理反映系统安装最终状态的竣工文件，确保运行维修基准文件的完整性与准确性。（撰写：郭文骏 审订：钱锦辉）

hedianchang shengchan zhunbei

核电厂生产准备 nuclear power plant operations preparation 核电厂投入生产运行前所需完成的一系列准备工作。包括：(1) 组织准备：建立和完善能承担核电厂运行核责任的生产组织机构，机构设置要涵盖两类主要功能，即直接运行功能和技术保证功能。(2) 人员准备：按岗位功能要求，招聘和培训合格的人员，并完成必要授权。(3) 物质准备：建立备品备件库、专用工具库，放射化学实验室、性能测试实验室和环境实验室，以及开发生产管理计算机信息系统等。(4) 文件准备：总量达数千份的运行规程、维修大纲和规程、各类技术规程和管理程序的编制、验证、批准和生效，以及建立符合质量保证要求的文件管理体系。(5) 执照申请：根据核安全法规以及环境保护法律和法规的要求，完成执照和许可证申请工作，主要包括核电厂操纵员和高级操纵员执照、核材料许可证、装料许可证、运行许可证等。从装料起，生产部门开始承担核责任，它标志生产准备阶段结束。

（撰写：张志雄 审订：钱锦辉）

hedianchang shigong guocheng kongzhi

核电厂施工过程控制 nuclear power plant construction control 核电厂施工过程中以合同为依据对施工进度、投资和质量进行的控制。施工进度的控制主要是根据总进度对施工承包商按合同中的二级进度和关键目标日期制定的施工三级进度计划进行控制和协调，其重点是接口日期是否符合二级进度和合同中规定的关键日期。为此要掌握好施工进程，做好完成工程量的测算和按支付点支付费用，采取必要措施赶上延误工期，做好土建向安装、安装向调试和最后向业主的移交工作，组织好各施工承包商之间的交叉作业等。投资控制要以合同为依据，而合同中规定的费用可靠与否取决于承包商是否可靠、合同方案是否成熟、任务范围是否明确以及所提供资源是否相匹配等。施工过程的质量保证和质量控制是保证核电厂建设质量的基本手段。一切形成产品的过程都要符合质量保证大纲和程序；一切形成产品的质量都要置于质量控制的检查和监督之下。质量控制工作主要包括：建立专门试验室测试浇灌的混凝土的性能，对到货的金属材料进行复验和到货设备的检查，并进行规范贮运，对焊接、预制和安装工作是否按程序进行质量控制的检查和监督，对承包

商的质量保证文件进行审查，对不符合项按程序处理和现场设计变更管理等。（撰写：刘国明 审订：范 刚）

hedianchang touzi kongzhi

核电厂投资控制 investment control in construction of nuclear power plant 主要通过概算、预算和合同对核电厂建设全过程的费用进行的控制。它是控制未来发电成本的关键之一，是核电厂项目经理必须履行的责任和行使的权力。控制投资，特别是控制基本建设投资（它占总投资的90%）的关键在于选择好项目合作伙伴、合同的定义明确及其方案成熟、供应范围规定得详尽、项目覆盖范围明确、风险分析方法正确和管理制度及程序完善。投资控制的手段包括：参与合同管理、质量和进度控制、招标控制、采购控制、人月数控制、变更控制、按合同支付进度表和合同执行进展报告实行支付控制、投资趋势和风险分析、项目费用预测等。投资控制是核电厂建设成败的关键之一。（撰写：刘国明 审订：范 刚）

hedianchang weixiu

核电厂维修 nuclear power plant maintenance 为了确保核电厂构筑物、系统和设备在设计寿期内保持、恢复和实现其设计功能和质量所进行的一切维修活动。它包括保养、修理以及更换零件，还可以包括试验、标定、检查以及构筑物、系统和设备的修改。核电厂的维修活动一般可分为预防性维修和纠正性维修两大类。前者是对非故障的设备和部件定期或当其运行参数偏离正常范围时所采取的维修活动；后者是使故障设备和部件恢复到正常运行状态所进行的维修。世界上已有不少核电厂开展了以可靠性为中心的维修，它是在收集设备损坏及修复的历史记载的基础上，通过概率分析来评价某一设备损坏模式对核电厂安全和可靠性所产生的影响，使用“逻辑树”的推理方法来确定对此设备的维修要求。这种方法在提高核电厂的可靠性、优化维修安排、缩短换料大修工期和减少维修费用方面取得了显著效果。

（撰写：张兆丰 审订：钱锦辉）

hedianchang xiangmu guanli

核电厂项目管理 nuclear power plant project management 对核电厂建设期间质量、进度和建设费用的协调和控制（俗称“三大控制”）的管理业务。它以科学而严密的组织、规划和程序保证核电建设各种业务活动达到有序的规范化管理，从而使建设进度、费用和质量得到控制。项目管理贯穿于核电厂建设的始终，从项目准备阶段的前期活动、招标和评标、合同谈判和签约，到项目实施阶段的设计、采购、施工、安装、调试、启动和并网。为完善项目管理，要有合理的组织机构及其明确的职能，要有科学的管理规则和程序，要充分利用合同、技术规格书、预算、进度计划和质量管理文件，要建立和使用完善的计算机网络等。项目管理的主体是核电厂业主和各合作伙伴之间建立的以项目经理为首的项目管理队伍。一个有经验的核电厂业主管理队伍是项目管理成败的关键，也是核电厂建设成败的关键。

（撰写：刘国明 审订：范 刚）

hedianchang xiangmu jingji fenxi

核电厂项目经济分析 economic analysis of nuclear power plant project 通过对核电厂建设项目的技术方案、项目费用和效益的分析以及经济效果的计算，来研究该项目经济效果的学科。核电厂项目经济分析的含义很广，内容很多，目前我国应用得相当广泛的是可行性财务评价。它通过对项目的投资、成本和效益的计算，进行项目在获利能力、偿还能力、资金结构、外汇效果和不确定性方面的分析，并对静态、动态财务评价指标作出评价。也就是在进行了工程建设投资估算、流动资金估算、资金筹措计划、贷款还本付息计算、固定资产折旧以及无形资产与递延资产摊销估算、总成本费用计算的基础上，计算全投资及自有资金（或资本金）的财务现金流量、损益、资金来源和应用、外汇平衡和资产负债，并计算各项财务评价指标。在进行上述分析的同时，除了需要进行多方案的比较评价之外，尚需进行不确定性分析。它包括盈亏平衡分析、敏感性分析和风险分析三项内容。

（撰写：温鸿钧 审订：程 萍）

hedianchang xiaofang xitong

核电厂消防系统 fire protection system of nuclear power plant 为了使核电厂火灾造成的损害减到最小而设置的系统。它们分为能动的和非能动的两大部分。能动的消防系统包括：火灾探测警报系统和火灾熄灭系统。火灾探测警报系统由探测器、报警控制装置和手动报警钮组成。中央报警控制装置一般设置在主控制室消防屏上。根据需要，火灾探测系统可联动固定火灾熄灭系统或其他消防系统。火灾熄灭系统种类繁多，如以水为灭火介质的灭火系统、泡沫灭火系统、CO_2 等气体灭火系统和化学干粉灭火系统等。火灾熄灭系统还可分为固定灭火系统、手提和手推灭火器系统及消火栓灭火系统等。核电厂灭火用的水是最重要的，每座核电厂都设有消防水供应系统。非能动消防通过核电厂内分区隔离来实现，用防火屏障把火灾封锁在某一局部区域，确保核电厂安全功能的执行。核电厂与一般建筑消防目的不同的是除保护人身安全、减少经济损失外，必须防止火灾引发核安全事故。核电厂消防系统必须遵循“纵深防御”的指导思想。把涉及能动和非能动消防、行政管理和人员培训、厂房布置、管道、电气、通风等各系统的设计，通过安全分析和火灾危险性分析，做到最优化的组合。（撰写：沈大钟 审订：张维忠）

hedianchang xuanzhi

核电厂选址 siting of nuclear power plant 依据有关设计基准筛选和评定核电厂厂址的过程。厂址选择的主要目的是保护公众和环境免受放射性事故释放引起的过量辐射影响，同时对于核电厂正常的放射性物质排放的影响也应考虑。厂址选择内容为研究下列厂址条件，筛选出在安全、经济和技术方面可以接受的厂址：(1) 地理位置和人口分布，包括厂址地理经纬度，地形地貌，厂址与附近工矿企业、居民点和城镇的相对关系，80 km 半径范围内人口分布，厂址附近的自然环境和社会经济概况；(2) 厂址附近的工业、交通和军事设施，外部人为事件对厂址的影响；(3) 工程水文和设计基准洪水；(4) 地质和地震条件，包括厂址附近范围能动断层评价，厂址基准地震动参数、地质构造、岩体风化和岩土设计参数；(5) 水源和供排水条件；(6) 铁路、公路、空运条件和厂外运输方式；(7) 电网条件；(8) 实施应急计划条件等。厂址选择程序包括选址准备、图上选点（室内选点）、现场勘察、初步筛选、勘察试验和审批。（撰写：侯忠松 审订：刘国明）

hedianchang zhiliang kongzhi

核电厂质量控制 nuclear power plant quality control 核电

厂中为使人们确信某一物项或服务的质量满足规定要求而必须进行的有计划的系统化的活动。它是为了在核电厂的建造和运行过程中达到质量目的而必须建立和使用的一种管理控制体系。核电厂设计、建造和运行能否达到质量要求，取决于项目管理部门有无能力建立和执行符合要求的质量保证大纲。质量保证要求的焦点是要有人全面负责质量保证大纲的制定和执行。虽然核电厂项目活动的所有合作伙伴都必须执行质量保证要求，但核电厂业主是核安全监管机构的重点监管对象，他必须对质量保证全面负责。质量保证涉及一切安全相关的设施和活动，包括达到质量和核实质量两方面的职能。质量保证活动是通过包括组织机构、质量保证大纲文件体系和质量记录制度的质量保证体系进行的。质量保证活动主要包括：机构建立及其职能认定、质量保证大纲的制定和执行、活动过程控制、文件控制、质量记录、不符合项控制、质量保证监查、物项和服务的验证和验收。核电厂的设计、采购、施工、安装、调试、启动和运行必须实施规定的质量保证活动(参见质量保证)。（撰写：刘国明　审订：范　刚）

H

hedianci maichong

核电磁脉冲　nuclear electromagnetic pulse (NEMP)　核爆炸产生的电磁脉冲，是核爆炸重要毁伤因素之一。核爆炸产生的瞬发 γ 辐射和 X 射线，与周围介质的相互作用形成的康普顿电流和光电流，以及由于电导率变化产生的回电流的增长和消失等，都将激励核电磁脉冲 (NEMP)，其中康普顿电流是主要的。核电磁脉冲的强度和波形，与爆炸威力和爆炸高度有关。地面爆炸时，距爆心几千米处的范围内，最大的电场和磁场强度分别可达 10^5 V/m 和 10^3 A/m 量级，持续时间在 10^{-3}～10^{-1}s 之间，且频率范围宽，从极低频到超高频；脉冲上升快。距爆心几千米外的电磁场随距离的增加而减弱。核电磁脉冲以光速向远区传播，在数千千米以外通过对它的测量，可以探测到核爆炸的信息，是核查中依据的因素之一。地面爆炸时距爆心十几千米范围内，原子弹和氢弹爆炸的电场强度随时间变化的波形如图。

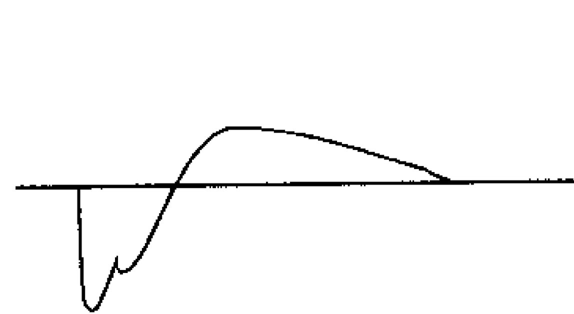


图 1　原子弹爆炸的电场波形

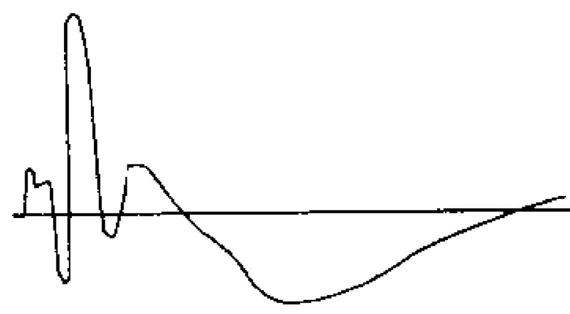


图 2　氢弹爆炸的电场波形

（撰写：华　鸣　审订：乔登江）

hedianci maichongdan

核电磁脉冲弹　electromagnetic pulse weapon driven by nuclear explosion　见核爆激励高功率微波武器。

hedianci maichong de chuanbo

核电磁脉冲的传播　propagation of nuclear electromagnetic pulse　核电磁脉冲在空间各种介质中的传播。包括通过电离层向上的传播，在大地和电离层之间构成的地球波导内向远方的传播，以及通过大地向地球深处的传播。根据不同距离核电磁脉冲波形的特点，传播区域大致可分为源区（距爆心几千米以内)、近区（几千米到近百千米范围内）和远区（百千米以远的区域）。源区电磁脉冲具有核爆炸辐射场的特点。近区和远区的电磁脉冲，是源区电磁脉冲场在传播过程中，受到地球表面介质性质、大气成分和电离层状态等影响的结果。近区的电磁脉冲波形较有规律，能显示核爆炸特征。不同类型的爆炸，波形及特征有明显的差异。远区电磁脉冲波形和自然闪电电磁脉冲现象极为相似，难以区分。要从远区波形得到核爆炸信息，还有待进一步研究。

（撰写：华　鸣　审订：乔登江）

hedianci maichong de fanghu

核电磁脉冲的防护　protection of nuclear electromagnetic pulse　为避免或减轻核电磁脉冲对电磁系统的干扰、破坏所采取的措施。一般防护措施有：屏蔽、电路合理布局、良好的接地以及采用各种防护装置等。屏蔽是电磁脉冲防护最基本的手段，也是最经济而有效的方法。凡是能屏蔽的部分都应该严格地屏蔽起来。屏蔽的材料可用高导电率、高导磁率的金属或兼而有之的材料。可采用多层屏蔽提高屏蔽的效能。电路的布局要合理，尽可能减少核电磁脉冲的耦合。尽管不同的设施或系统电路的布局千差万别，但总的原则是消除环路减少磁场的耦合。接地是降低电磁干扰的基本方法。在难于屏蔽的电子设备和线路上，采用一些有效的防护装置，也可以收到很好的防护效果。（撰写：华　鸣　审订：乔登江）

hedianci maichong duidianzixitong chuandao huilu ganrao de fanghu kongzhi

核电磁脉冲对电子系统传导回路干扰的防护控制　interference control by NEMP to current loops of electronic systems　在电子系统传导途径采取的防护控制。主要有两方面：一是控制传导回路（包括信号线、电源线等)。即根据干扰引入的部位、耦合方式而采用不同的保护形式。二是控制接地回路。地回路是整个传导回路的组成部分，“地”包括大地、印制板的参考地和高频地回路等。对它的防护是要对地回路合理布置，减少共地阻抗耦合，并根据实际情况采用单点接地、多点接地、大面积接地或对地悬浮地等。

（撰写：倪建平　审订：赖祖武）

hedianci maichong duidianzixitong ganrao de kongyu fanghu kongzhi

核电磁脉冲对电子系统干扰的空域防护控制　interference control by space of NEMP to electronic systems　在空间上对电磁干扰进行防护。即采用完善和合理的屏蔽将辐射干扰电磁场在空间上与接收器隔离开，使干扰电磁场在到达接收器时强度降至最低限度。空域防护是对空间辐射干扰源控制的最有效和最基本的方法。电子系统对空间辐射耦合的防护主要靠屏蔽，包括将产生辐射干扰的电磁场密封在金属屏蔽体内，将整个接收系统屏蔽或电子设备中的局部屏蔽。为了合理地进行屏蔽设计，必须了解屏蔽的机理以及屏蔽效果的估算方法。为了保证屏蔽的完整性和有效性，还要采取一些辅助措施，例如采用隔离变压器及滤波器，从屏蔽室外部对屏蔽室内部进行电源线连接；通过光路而不是直接通过电信号从屏蔽室外部对屏蔽室内部的设备进行信号的联系和控制等。

（撰写：倪建平　审订：赖祖武）

hedianci maichong duidianzixitong ganrao de nengyu fanghu kongzhi

核电磁脉冲对电子系统干扰的能域防护控制　interfer-

ence control by energy of NEMP to electronic systems　电子系统为防止浪涌电压（电流）的冲击而采取的防护措施。核电磁脉冲（包括内电磁脉冲和系统电磁脉冲）打在器件的金属壳体上会产生十分强大的浪涌电流。这种浪涌电流含有很大的能量，如进入设备，不仅会产生干扰，而且会导致设备损坏。防护方法是在浪涌干扰的输入端连接一个浪涌保护器件，进行限幅钳位或旁路分流，当浪涌电压超过某一阈值时，立即击穿把电位钳住或让电流从旁路分流掉。

（撰写：倪建平　审订：赖祖武）

hedianci maichong duidianzixitong ganrao de pinyu fanghu kongzhi

核电磁脉冲对电子系统干扰的频域防护控制　interference control by frequency of NEMP to electronic systems　利用系统的频率特性将需要的频率成分接收，将核电磁脉冲干扰的频率成分剔除的防护办法。有以下几种方法：(1) 滤波：当电磁干扰频谱覆盖很宽，而要接收的信号频谱较窄，可以用滤波的办法，让需要的频率通过。(2) 电—光变换：一般的电磁干扰在数十到数百兆赫兹的频率范围内，对于红外及可见光不产生影响，因此可将电信号转换成光信号进行传输，以防止电磁干扰。(3) 编码：是将电信号抽样模数变换后以数码形式传输。(4) 调频：是将信号加于中心频率为一定值的高频发射机进行频率调制，传输过程中如遇有电磁干扰，只影响波形的幅度，不影响其频率，接收信号经波形切削、频率解调就可还原出原信号。　（撰写：倪建平　审订：赖祖武）

hedianci maichong duidianzixitong ganrao de shiyu fanghu kongzhi

核电磁脉冲对电子系统干扰的时域防护控制　interference control by time of NEMP to electronic systems　电子系统在时间上避开干扰的防护办法。当干扰非常强、不易受控制，且仅在一定时域内阵发存在时，常采用时间回避的方法，即信号的传输在时间上避开干扰的作用。时间回避的时域防护控制有两种：(1) 主动时间回避：采用传输速度快的电缆或转换速度快的发射电路，让信号赶在干扰之前尽快传输出去。若信号在干扰出现之后产生，可采用延迟电缆或延迟发射电路，让干扰通过之后再将信号传送出去。常用于地下核试验。(2) 被动时间回避：利用高灵敏传感器，在干扰出现前用高速电子开关将设备电源切断、关机或将信号转移到非挥发储存器中，待干扰过后再将信号传送出去。常用于卫星、航天飞机、导弹核武器的电子通信及控制。

（撰写：倪建平　审订：赖祖武）

hedianci maichong duidianzixitong sunshang de fanghu jiagu

核电磁脉冲对电子系统损伤的防护加固　hardening of NEMP to electronic systems damage　核电磁脉冲（包括内电磁脉冲和系统电磁脉冲）环境中为避免电子系统损伤而采用的保护措施。方案主要为三个方面：(1) 对电子系统的外壳和电缆进行全面屏蔽，电缆的插头座必须保持外壳和电缆屏蔽的连续性，并采用最佳接地方案。介质材料外表面涂一层导电胶，可以起一定的屏蔽作用。接地导线决不能穿透屏蔽的表面。(2) 用旁路的方法对感应信号衰减和限压。一般用的限压器有介质击穿器件、半导体击穿器件和非线性电阻器。(3) 元器件的选择和加固。在不影响系统特性的前提下，尽量选用抗核电磁脉冲能力强的器件。　（撰写：倪建平　审订：赖祖武）

hedianci maichong pohuai xiaoying

核电磁脉冲破坏效应　destructive effects of nuclear electromagnetic pulse　核电磁脉冲对电子、电力系统造成的干扰、破坏作用及其后果。核电磁脉冲的持续时间尽管仅有 10^{-3}～10^{-1}s，但地面爆炸时在距爆心几千米范围内，其电场强度仍可达十万伏每米量级；威力百万吨 TNT 当量上百千米的高空爆炸，距爆心投影点几百千米的地面上，也可达到每米上万伏的电场强度。具有如此高强度且频带很宽的核电磁脉冲，耦合进入系统后产生很大的电流和很高的电压，使电力、电子系统，诸如供电设备，指挥、控制、通信系统以及电子计算机等的性能降低，发生故障或永久性损坏等。核电磁脉冲对电磁系统的破坏程度，与爆炸威力和爆炸高度密切相关，也与电子部件的线路特性和对电磁脉冲的敏感程度有关。高空爆炸时的损伤覆盖面积比地面爆炸时大。例如美国 1962 年在太平洋的约翰斯顿的高空爆炸，造成离爆心投影点约 1300 km 的夏威夷岛的街灯发生故障，檀香山的防盗报警器误动，一些电力线路的断路器断开。可以采取电磁屏蔽、电路布局、接地和其他防护装置来避免或减轻核电磁脉冲的破坏损伤。　（撰写：华　鸣　审订：乔登江）

hedianci maichong tance

核电磁脉冲探测　detection of nuclear electromagnetic pulse　用测量电磁脉冲的方法来探测核爆炸。大气层核爆炸产生强大的电磁脉冲，也称核电磁脉冲，其中频率较低的部分经过地面和电离层之间形成的波导可以传播到几千千米以外，用比较灵敏的测量设备可以可靠地探测。因为电磁脉冲以光速传播，利用多个测量点的电磁脉冲到达时间的数据可以交会得出爆炸点的大致位置。核电磁脉冲测量中主要的困难是本底噪声大，尤其是与雷电伴随的电磁脉冲难于区别，测量技术中要努力改善天线设计，发展信号处理技术，排除从海洋雷电区传来的电磁脉冲。《全面禁止核试验条约》没有把核电磁脉冲列入国际核查系统中。

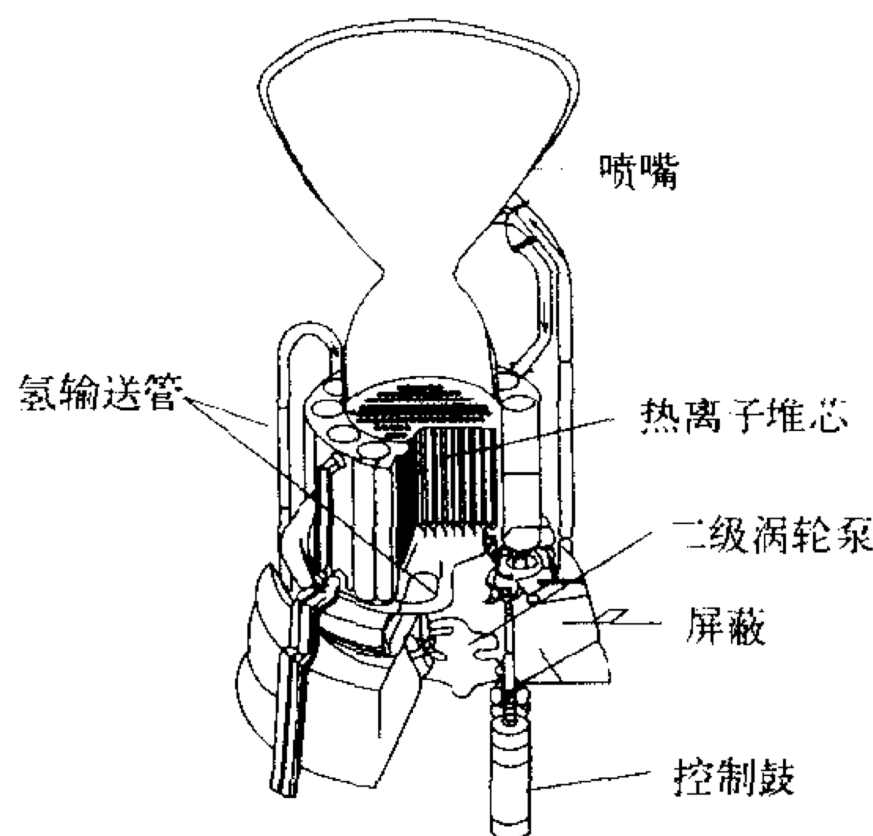
（撰写：吕　敏　审订：周佩珍）

he dianheshu

核电荷数　nuclear charge number　原子核带的正电荷量以元电荷 e 表示时的数目，一般用符号 Z 表示。核电荷数是原子核的重要参数之一，它等于核内质子数。核电荷数相同的原子具有相同的化学性质，通常把核电荷数相同的一类原子称为一种元素。元素的原子序数等于核电荷数。一种原子的核电荷数可以通过不同的实验方法测得。到目前为止，人类已发现的元素其核电荷数 Z 从 1 到 112。其中 Z 为 43、61 及 $Z > 94$ 的元素都是用人工方法获得的，它们在地壳中没有发现。　（撰写：华　辉　审订：卢希庭）

hedian huojian fadongji xitong

核电火箭发动机系统　nuclear electric jet engine system　把核反应堆裂变或聚变能首先转换为电能，为电火箭供电，然后由电火箭产生推力的推进系统（见图）。利用核反应堆发电为空间飞行器供电的系统称为空间核反应堆电源，热电转换方式可以利用动态转换，也可以利用静态转换（参见空间核电源），电火箭可以是电热火箭发动机、静电火箭发动机（离子火箭发动机）和电磁流体发动机。俄罗斯与美国都在开发发电和推进两用的空间核反应堆动力系统，推进部分同核热火箭发动机系统，但加入发电元件。这样的空间核反应堆动力系统



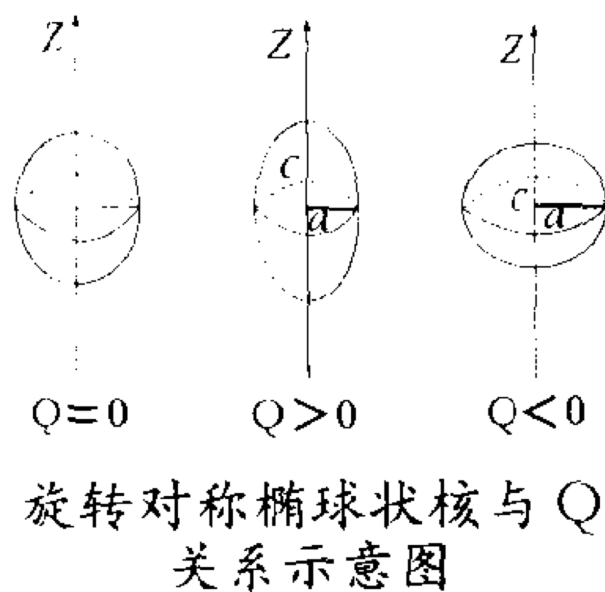
发电和推进两用核电火箭发动机系统

既有核热火箭发动机系统的功能，又有空间核反应堆电源的功能。图示为典型的以热离子元件为发电元件的发电推进两用的空间核反应堆动力系统。（撰写：杨启法　审订：苏著亭）

hedianju

核电矩　electric moment of nucleus　表征原子核内电荷分布特征的量。对任一带电体系，它在r处（r远大于带电体线度）产生的电势φ，一般可近似地表示为

$$\varphi=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{1}{r}\int\rho\mathrm{d}\tau+\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{1}{r^2}\int\rho Z\mathrm{d}\tau+\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{1}{r^3}\int\rho\left(3Z^2-r^2\right)\mathrm{d}\tau$$



旋转对称椭球状核与Q关系示意图

式中 第一项为点电荷对势的贡献；第二项相应于电偶极矩的贡献；第三项为电四极矩的贡献。理论与实验证明：核无偶极矩。它的电四极矩定义为

$$Q=\frac{1}{e}\int\rho\left(3Z^2-r^2\right)\mathrm{d}\tau$$

量纲为面积量纲，单位是靶（b），Z选为核的旋转对称轴。若核为一旋转椭球（见图）；且近似认为体系电荷密度$\rho(r)$为常量，则有

$$Q_0=\frac{2Z}{5}\left(c^2-a^2\right)$$

这样，当核电荷分布为球形时，核电四极矩为零；长椭球时$Q>0$；扁椭球时$Q<0$。因此，核电四极矩是核电荷分布偏离球形的量度。核电四级矩可通过原子光谱超精细结构间距法或电四极共振吸收法测量。

（撰写：夏宗璜　审订：叶沿林）

hedianzixue

核电子学　nuclear electronics　核科学技术与电子科学技术相结合而形成的一门交叉学科。形成于20世纪50年代，其内容包括：核科学、高能物理和核技术中有关核辐射（和粒子）探测的电子技术；核爆炸和外层空间的辐射对电子系统的效应和抗辐射的加固技术；核技术应用中所需的电子技术。脉冲幅度、时间间隔、波形和径迹的精密测量和甄别技术、纳秒脉冲技术以及模数变换技术都是在核电子学中首先得到发展。核电子学的研究对象包括：(1) 各种辐射探测器及与之相应的电子电路或系统。(2) 针对核信号时间上的随机性、幅度上的统计性、波形的多样性以及信号集需要加以选择等特点的各种精密的电子学测量技术。(3) 各种大型核电子系统，用于核科学技术和高能物理实验中实时获取并处理巨量核信息，并在实验过程中不间断地对整个系统的运行进行检测和控制。(4) 电子原材料、电子元件、器件和电子设备或系统在核辐射、核电磁场下的辐射效应和相应的抗辐射加固技术。(5) 核技术在工业、农业、军事、医学、生物研究等方面应用时所需的电子技术。核技术的广泛应用对核电子学提出了更深入的要求，如高可靠性、高稳定性、辐射环境下的生存和应用等。至于核能应用和航天电子设备的抗辐射加固，更需要抗辐射电子学作出贡献。核信息获取和处理系统的实时性强、速度快和功能灵活，为其他领域提供了很多有用的经验。

（撰写：倪建平　审订：席德明）

hedongtian

核冬天　nuclear winter　关于大气层中大量核爆炸可能造成全球性大气和气候恶化的一种理论。一场核战争中大量核爆炸掀起的尘埃和引起大面积火灾生成的烟灰，会长时间飘浮在10 km以下的大气中，形成一个厚的烟云层，从而阻挡了太阳光向地面的传输。而该云层却无法阻挡地面热量以红外辐射形式向宇宙空间的散射。其结果是使全球气温下降到 −15～−25℃，生态环境彻底破坏，地球上的生物和动物最终消失。“核冬天”理论是1982年6月，联邦德国P.J.克鲁兹等发表的在“核战后的大气层”研究报告中提出的。其后，美国卡尔·萨根等利用各种物理模型，进行了深入的研究。近年来，美国、前苏联（俄罗斯）一些科学家从火星尘暴现象，火山爆发对地球气候的影响，以及猜测历史上可能出现过小行星撞击地球产生大量尘埃，造成动、植物消亡现象为基础，利用模拟核战争等作了计算，支持了“核冬天”的理论。然而，一些科学家如美国的爱德华·泰勒，则认为“核冬天”理论的根据是“半信半疑的”。后期的研究中当考虑风场和海洋具有蓄热能力等因素时，认为温度下降不会那么严重，因此，又出现了“核秋天”的假说。“核冬天”理论正确与否直接关系到人类的生存，一直得到世人的关注。由于它涉及到许多不确定因素，要得出最后结论为时尚早。

（撰写：朱焕金　审订：乔登江）

hedongli zhuangzhi anquan liansuo

核动力装置安全连锁　nuclear power plant safety interlock　核动力装置出现规定条件时发出连锁信号并且闭锁那个与该条件不相容的或不必要的安全动作的功能。安全系统具有多种安全功能，分别完成所需的安全动作。就某个安全动作而言，在某种反应堆状态时，它是安全所需的；而在另一种反应堆状态时，它可能是不必要的，甚至与此时的反应堆状态是不相容的。因此当反应堆从上述前一种状态转为后一种状态时，发出连锁信号将这个安全动作闭锁；反之，当反应堆从后一种状态转为前一种状态时，连锁信号消失，该安全动作自动恢复。用这种办法来确保安全功能与反应堆状态协调一致。

（撰写：彭经文　审订：孙荣绵）

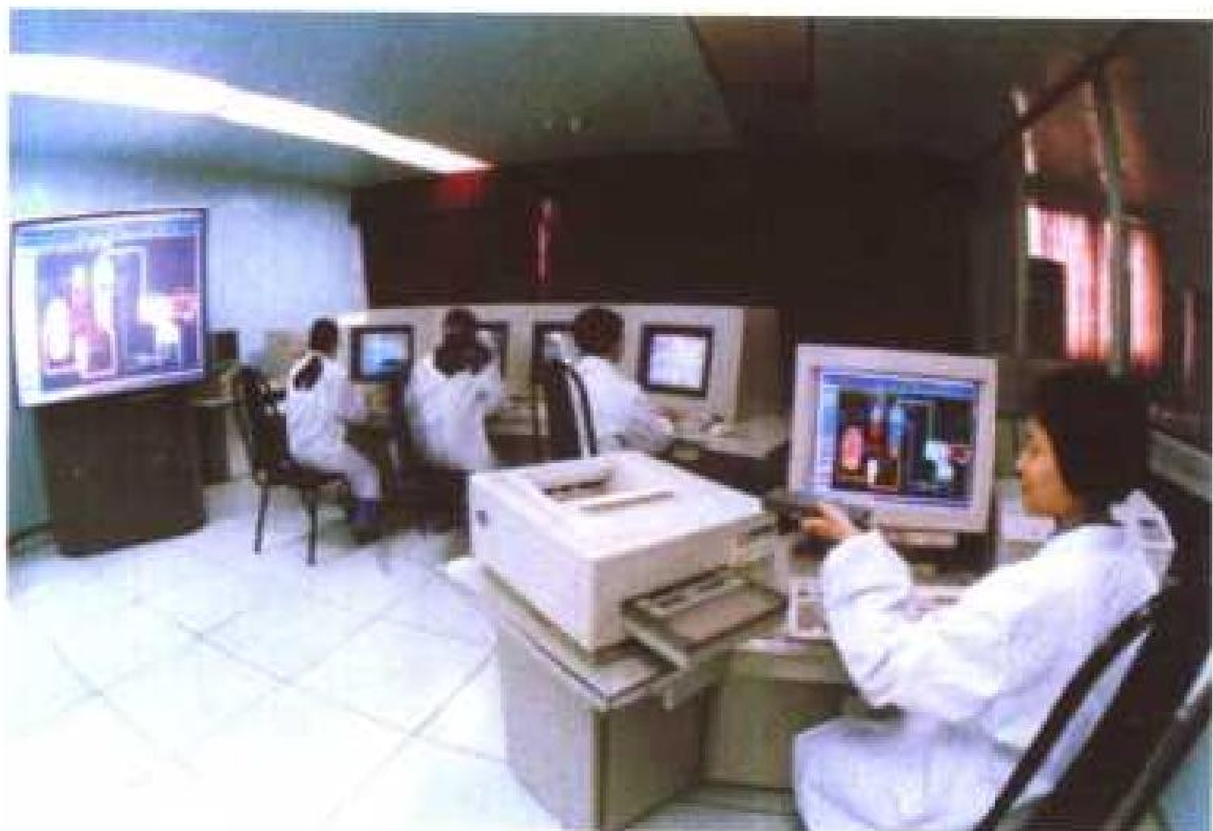
hedongli zhuangzhi baojing xitong

核动力装置报警系统　nuclear power plant alarm system　在核动力装置偏离正常工况时，以灯光和音响或屏幕显示的方式，向操纵员提供警告信息，使操纵员能在核动力装置出现异常事件之前作出有效反应的系统。为了给出每个事件最有代表性的报警信息，要求报警装置的信号处理完成下列功能：(1) 设定物理参数报警阈值；(2) 代表某些状态下的某种故障

的逻辑数据处理；(3) 鉴别单一事件引发的一系列伴随故障，只发出主事件的报警；(4) 某个事态的发展导致报警信号接连出现时，优先通告重要性高的报警，抑制重要性低的报警；(5) 任何新出现的报警必须启动音响，并使该报警灯光和屏幕显示的标记闪动；(6) 为事后分析的目的，对安全重要的报警进行记录或打印。（撰写：彭经文　审订：孙荣绵）

hedongli zhuangzhi gongcheng fangzhenji

核动力装置工程仿真机　nuclear power plant engineering simulator　利用仿真技术对核动力装置的运行和安全特性进行仿真分析和实验研究的设备（见图）。仿真的系统和工况范围与核动力装置全范围培训模拟机相当，仿真的精度（保真度）与工程设计和最佳安全分析程序相当。因此，它可完成大范围的系统安全分析、装置运行和控制方案的优化研究、运行规程的验证和修改等任务。如果配备相应的接口系统，可构成半实物仿真平台，完成诸如运行监视系统、控制和保护系统等实物的性能测试和考验任务。



我国自行研制的核动力装置工程仿真机 NPA2000

（撰写：颜　俊　审订：张禄庆）

hedongli zhuangzhi jiegou jianzhenqi

核动力装置结构减振器　damper in nuclear power structures　核动力装置中为减少或消除由于介质的不规则流动、风阻、流态瞬变（水锤或汽锤）、地震或机械等原因引起的管道和设备的周期性的振动、摆动或瞬时冲击载荷，以改善管道和设备的运行状况的机械装置。减振器通常有弹簧式和轮鼓式两种。弹簧式减振器是通过减振弹簧的刚度及弹簧预压缩减少来消除管道和设备周期性振动或瞬时冲击，提高整个管道和设备的固有振动频率，使之离开因外界干扰引起的管道和设备强迫振动频率，从而避免共振现象并减少管道和设备由于振动产生的附加力。轮鼓式减振器靠摩擦力来控制管道和设备的摆动、振动和吸收冲击载荷，起限制管道和设备热位移的作用。轮鼓式减振器由固定轮鼓、可转动圆盘、带刻度指示的调节螺栓以及碟形弹簧等组成。在实际使用中，根据设计要求旋转带刻度指示的调节螺栓至适当刻度，控制碟形弹簧变形量，从而获得设计要求的摩擦力。在核动力设备及管道上，较多采用的是弹簧式减振器。如在核电厂的应急柴油发电机组上，为了达到抗振的目的，减少机组运转时的振动和对厂房结构的干扰，及提高机组的固有频率，在其支承部分常常设有数十个弹簧式减振器。

（撰写：王　志　审订：范　刚）

hedongli zhuangzhi jiegou zuniqi

核动力装置结构阻尼器　snubber in nuclear power structures　核动力装置中用来防止管道和设备在突然载荷条件下遭受损坏的装置。它允许管道和设备由于温度变化造成的缓慢位移，但在突然载荷（交变的、周期的或恒定的）作用下，阻尼器变为“刚性”的，从而可为管道和设备组成的系统提供刚性结构支承，限制管道和设备的运动。由于阻尼器的这种特殊的作用，它被广泛地用于核电厂管道和设备，用来对付各种突然载荷，特别是用于抗震。阻尼器的结构型式有两种：机械式和液压式。阻尼器的作用是限制它所连接的设备在阻尼器轴向的位移，因此，阻尼器的行程应大于或等于所有渐变载荷造成的位移。为了适应少量的转动位移量，阻尼器的两端分别通过球形铰支固定在管道设备及固定结构上，从而安装后能允许阻尼器有少量的转动。

（撰写：信天民　审订：范　刚）

hedongli zhuangzhi kongzhi liansuo

核动力装置控制连锁　nuclear power plant control interlock　核动力装置出现某个规定条件时发出连锁信号并完成该条件下所要求的控制连锁的功能。控制连锁有：(1) 禁止某个与规定条件相违背的控制动作，例如反应堆冷却剂系统的压力低于某一限值时，闭锁稳压器卸压阀的开启；(2) 终止某个引起偏离正常运行状态的控制功能，例如反应堆功率水平达到某一限值时，闭锁控制棒的提升；(3) 阻止某个违背规定程序的动作实施，例如控制棒组之间的连锁；(4) 切换设备的运行，例如切除故障设备，启动备用设备。控制连锁使系统处于可使用状态，纠正偏离正常运行的工况。控制连锁都是自动进行的。（撰写：彭经文　审订：孙荣绵）

hedongli zhuangzhi peixun moniji

核动力装置培训模拟机　nuclear power plant training simulator　利用仿真技术培训和考核核动力装置操纵和运行管理人员的装置。按其功能可分为如下三类：(1) 全范围核动力装置培训模拟机，又称主控制室全复制培训模拟机（见图）。它



核电厂全范围核动力装置培训模拟机

主要用于操纵员取执照训练和考试。为确保操纵员的培训质量，特别是处理事故的能力，各国皆为这种模拟机制定了国家标准。通常，每一种型号的核动力装置必须为之配置专用的全范围培训模拟机。(2) 有限范围培训模拟机，又称为紧凑型培训模拟机。通常它的模拟范围仅限于核动力装置的主要工艺系统，约能承担 70%～80% 的培训任务。(3) 部分任务培训模拟机。它用于模拟基准核动力装置中某些重要的系统或设备的详细运行过程，使受训人员深入理解有关运行机理，因此又称为基本原理培训模拟机。第 (2) 和第 (3) 类模拟机皆属辅助培训模拟机，主要作预培训之用。

（撰写：颜　俊　审订：张禄庆）

hedongli zhuangzhi zhicheng jiegou

核动力装置支承结构 support structure for equipment of nuclear power unit 核动力装置中用于支撑反应堆等主体设备的结构。对于压水堆核电厂，主要有反应堆压力容器的支

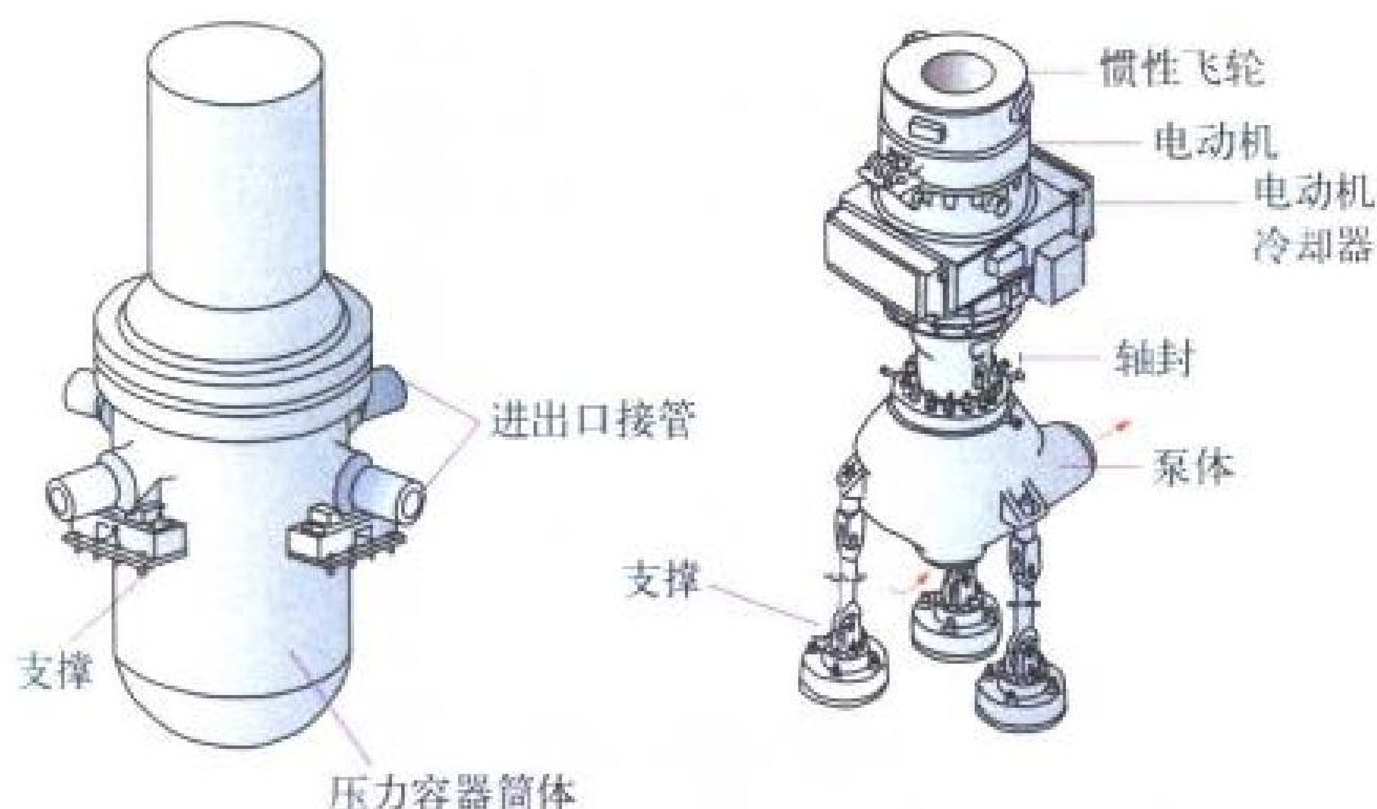


图 1 反应堆压力容器支撑结构

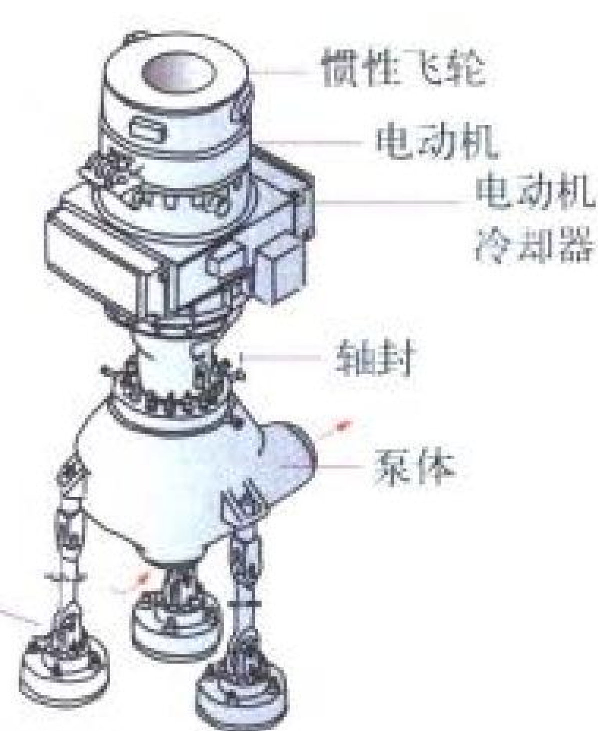


图 2 反应堆冷却剂泵支撑结构

撑、蒸汽发生器的支撑、反应堆冷却剂泵的支撑等。反应堆压力容器主要支撑设在压力容器的各冷却环路的进出口接管处(见图 1)，蒸汽发生器和反应堆冷却剂泵则分别由位于设备底部的四条支腿支撑和三条支腿支撑(见图 2)。

(撰写：信天民 审订：范 刚)

hefadian chengben

核发电成本 nuclear electricity generation cost 核电厂项目为生产电力所消耗的全部物化劳动和活劳动的货币表现。发电总成本按内容分为投资成本、运行维修成本和燃料成本三大部分；按成本性质分为容量成本(固定成本)和电量成本两类；按用途和计算方法分为全寿期平准化折现成本和财务生产成本等。一般来说，投资成本包括折旧费、摊销费、财务费和退役基金；运行维修成本包括大修费、保险费、人员工资和福利费、管理费、中低放废物处理处置费、材料费和动力费；燃料成本包括核燃料费和乏燃料后处理费。容量成本指为提供发电容量而发生的、只与容量有关而与容量的利用率和电量无关的“固定”成本，上述的投资成本以及运行维修成本中的大修费、保险费、人员工资和福利费以及管理费(此四项合称为固定运行维修成本)属容量成本；电量成本指在提供电力的同时，为提供所需电量而发生的、随电量的变化而改变的变动成本，燃料成本和运行维修成本中的中低放废物处理处置费、材料费和动力费(合称为变动运行维修成本)属变动成本。发电单位成本指净发每千瓦小时电量的成本。核电厂在全寿期内所有成本费用折现值的总和与该寿期内净发电量折现值总和之比称为全寿期平准化折现单位成本。它较好地表征了电厂的经济性，已成为国际通用的成本预测和比较评价的方法。此外，核电厂还需要进行年生产成本核算，即将按年度分摊的年投资成本和年燃料成本，加上当年发生的年运行维修成本，平均摊给当年的净发电量，构成当年的年平均单位成本，即为财务生产单位成本。

(撰写：温鸿钧 审订：程 萍)

hefanying

核反应 nuclear reaction 核子、原子核或其他粒子引起原子核的状态发生变化或者形成新的原子核的过程。用 A 和 a 表示靶核和入射粒子，核反应产物可以是两体、三体或多体。对于两体核反应，B 和 b 分别表示靶剩余核和出射粒子，其核反应方程表示为



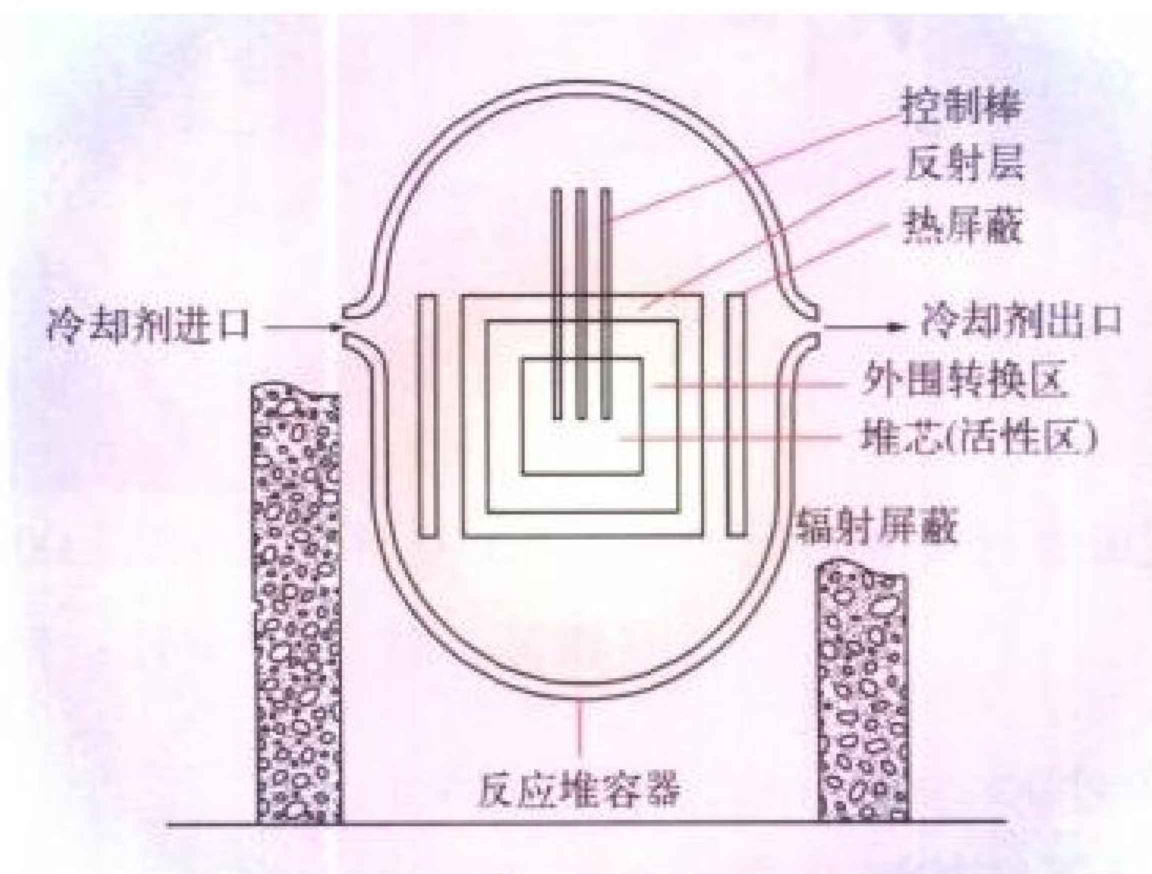
$$a + A \longrightarrow b + B + Q$$

或者简写为 A (a，b) B。Q 表示核反应释放的能量，它是核反应前后的质量差。当 $Q > 0$ 时，核反应为放热反应；当 $Q < 0$ 时，核反应为吸热反应。核反应过程要保证能量、动量、电荷数的守恒。发生吸热核反应所需要的入射粒子在实验室坐标系中的最低能量称为该反应道的阈能。带电粒子的核反应，还必须考虑库仑势垒的影响，只有当入射粒子的能量超过阈能并又大于库仑势垒时，核反应才有较大的概率。例如，$d+T \longrightarrow {}^{4}He+n+17.588$ MeV 表示氘和氚反应生成氦和中子，放出 17.588 MeV 的能量，但由于库仑势垒，只有氘核能量为几十千电子伏时，才有可观的反应截面。

(撰写：张竞上 审订：许谨诚)

hefanyingdui

核反应堆 nuclear reactor 通常指裂变反应堆，即利用易裂变核素发生可控的自持核裂变链式反应的装置。简称反应堆或堆，因最初这种装置由石墨砖堆砌成而得名。核反应堆本体有多种不同的结构形式，最普遍的是固体核燃料非均匀型。它一般具有下列组成部分(见图)：(1)核燃料元(组)件，包括



核反应堆组成部分示意图

易裂变材料(裂变燃料)、可转换材料(转换原料)和包壳等结构材料；(2)慢化剂(快中子堆没有这一部分)；(3)将裂变能量载出堆外的冷却剂；(4)用以启动或停止链式反应和调节功率水平的控制元件及其驱动机构；(5)测量中子注量率及其他参量的仪器；(6)反射层和快中子堆中的外围转换区；(7)热屏蔽层和辐射屏蔽层；(8)对以上各部分起支承、定位、导向和屏障作用的结构件，统称堆内构件；(9)反应堆容器。前 3 项及堆内构件构成反应堆的堆芯(活性区)，控制元件可插入或抽出堆芯，以执行控制功能。用反应堆容器包容堆芯和相关部件。靠辐射屏蔽层保护工作人员免受辐射伤害(参见反应堆分类)。

(撰写：连培生 审订：陈叔平)

hefanying fangcheng

核反应方程 nuclear reaction equation 见核反应。

hefanying fenxi

核反应分析 nuclear reaction analysis 由入射粒子引起物质元素发生核反应，进而探测其瞬发生成物(带电粒子、中子、γ射线)以确定物质成分与含量的一种离子束分析技术。严格地讲，核反应分析应该叫带电粒子瞬发核反应分析，其优点是分析速度快，可以利用不同的反应道以及出射粒子的

核反应运动学的关系，更有利地鉴别元素和消除干扰反应。例如用 $^{16}O(d, p)^{17}O$、$^{14}N(d, p)^{15}N$ 和 $^{12}C(d, p)^{13}C$ 反应分析碳、氮、氧元素。特别是一些有窄共振峰的反应，如 $H(^{19}F, \alpha\gamma)^{16}O$、$H(^{15}N, \alpha\gamma)^{12}C$，可在不破坏样品结构的情况下，不仅可以给出元素的总含量，而且还可以给出元素的深度分布的信息，深度分辨率为几个纳米。日前主要用于材料科学研究中样品表面层轻元素含量和深度分布的测定。

（撰写：张士琛　审订：吕延晓）

hefanying guocheng de miaoshu

核反应过程的描述 presentation of nuclear reaction process 在核反应机制理论发展的基础上，外斯柯夫（V.F.Weisskopf）于1957年对核反应过程提出了三阶段描述。它描绘了核反应过程的粗糙图像。

第一阶段，入射粒子接近到靶核核场作用范围内，犹如光波射到一个半透明的玻璃球一样，可能发生两种情况：一是粒子进入靶核，被靶核吸收，好像玻璃球吸收了光波，这就引起核反应；二是粒子被靶核弹出来，好像光波遭到了玻璃球的反射和折射，这就是弹性散射。这两种过程广义上都叫做核反应。描述这一阶段的核反应模型称为光学模型。在这一阶段中，入射粒子在靶核核场中运动，保持相对独立性，所以通常叫做“独立粒子阶段”。

第二阶段，粒子被靶核吸收后，反应进入了第二阶段。在这一阶段中，粒子与靶核发生了能量交换，因而不再能看作是粒子在整个靶核作用下独立运动，而认为入射粒子和靶核形成了一个复合体系，所以叫做复合系统阶段。应该注意，复合系统是比复合核更为广泛的一个概念，前者中各种自由度不像后者中那样都必须达到平衡状态。除了直接过程和复合核过程外，还存在介于两者之间的过程，例如平衡前发射就是这种过程。

第三阶段，核反应的最后阶段。在这一阶段中，复合系统分解成出射粒子和剩余核。显然，分解出的粒子也有可能与入射粒子相同，同时剩余核处于基态，这就是弹性散射。这种经过复合核的弹性散射称为复合核弹性散射，它就是人们所讲的共振散射。独立粒子阶段所形成的弹性散射称为形状弹性散射，即人们所讲的势散射。（撰写：卢希庭　审订：赵守林）

hefanying jiemian

核反应截面 nuclear reaction cross section 入射粒子与靶粒子之间发生某种特定反应的概率的度量。在核物理中用截面表示，具有面积量纲，标准单位为m^2，通用的单位为靶恩（b），$1b = 10^{-28}m^2$。不同的反应道具有不同的反应截面。一种反应道的截面以σ_i表示（$i = 1, 2, \cdots$），一个核所有反应道截面之和称为总截面。为了更细致地描述核反应特征，经常用微分截面。单位能量间隔及单位立体角内的截面为双微分截面$\left(\dfrac{d^2\sigma}{dEd\Omega}\right)$。单位出射能量间隔内的反应截面称为谱截面或能谱$\dfrac{d\sigma}{dE}$；单位立体角内的截面，则为角截面或角分布$\left(\dfrac{d\sigma}{d\Omega}\right)$。通过对各种核反应截面的分析，可以了解核的内部结构和直接揭示原子核之间的相互作用特征。它是核工程应用中不可缺少的重要参数。（撰写：张竞上　审订：许谨诚）

hefanying lilun

核反应理论 nuclear reaction theory 为了理解和描述由实验测量的核反应行为而发展的各种理论模型。对不同的入射粒子和靶核，在各种能量情况下，核反应模型理论按不同核反应机制给出相应的理论描述。由入射粒子可划分为：（1）由中子引起的核反应；（2）由带电粒子引起的核反应；（3）由光子引起的核反应，称为光核反应。对于核子和轻的原子核引起的低能核反应，根据出射粒子的情况，可分为：（1）弹性散射 A（a，a）A；（2）非弹性散射 A（a，a）A^*，出射粒子与入射粒子相同，但反应后靶核或入射粒子处于激发态（以右上角 * 号表示）；（3）重整碰撞 A（a，b）B，又称核子交换反应。在这种核反应过程中入射粒子与靶核之间发生了核子交换，出射道产生了新的原子核和粒子；（4）辐射俘获反应 A（a，γ）C，入射粒子进入靶原子核而形成复合核 C^*，处于激发态的复合核通过发出γ射线退激到基态；（5）复合核蒸发反应 A（a，X）B，入射粒子进入靶原子核而形成复合核，复合核发出一个或多个核子或核而退激；（6）重靶核可以分裂为两个或几个原子核，称为裂变反应。对于核子和轻的原子核引起的核反应，入射粒子进入靶核前的散射行为由光学模型描述；入射粒子与靶核外层少数核子相互作用过程由直接反应模型描述；入射粒子进入靶核引起粒子空穴的非平衡多步激发过程，可用激子模型和核反应多步直接或多步复合核理论描述。在复合核达到平衡态后的行为由复合核模型描述。由重离子引起的核反应还有其他的反应机制（参见低能重离子碰撞）。

（撰写：张竞上　审订：许谨诚）

hefushe duidianzixitong de shuntai xiaoying

核辐射对电子系统的瞬态效应 transient radiation effects in electronics（TREE） 电离辐射剂量率在半导体器件或电子系统中引起的瞬态响应。半导体器件在γ射线、X射线等的辐射下产生电子—空穴对，引起电离，而后逐渐消失，由此引起不同电子系统的不同的瞬态效应。效应大小决定于半导体中产生电子—空穴对的速率和数量，而与辐射性质无关。其数量与半导体吸收的能量和产生一对电子—空穴的有效能量有关，例如吸收剂量率为 1 Gy/s 在硅材料中每秒每立方厘米产生 4×10^{15} 电子—空穴对。瞬态电离会在半导体器件中引起光电流，当光电流流经电子系统将给系统工作状态带来扰动，当光电流超过一定值会使系统产生逻辑错误，严重时使之停止工作或烧毁。高空核爆炸的高γ照射量率是毁伤空间飞行器中电子系统的重要因素，其毁伤机理也就是瞬态电离。（撰写：乔登江　审订：吕　敏）

hefushe duidianzixitong de yongjiuxing sunshang

核辐射对电子系统的永久性损伤 permanent radiation damage in electronics 中子和其他高能粒子轰击半导体中原子使之离开平衡位置的位移效应进而引起器件的永久性失效。中子在半导体材料例如硅中与晶格原子弹性碰撞失去能量，反冲原子在运动过程中使沿轨迹的一串原子产生位移，这些位移原子构成了缺陷群。半导体电性能对于缺陷群极为敏感，使得载流子寿命、扩散长度等受到很大影响，从而造成半导体器件的永久性损伤。例如，双极晶体管在中子辐照下，其电流增益随中子能量作线性降低，当电流增益降低到一定程度后，器件失效，不再恢复。器件失效的中子注量不仅与中子能量有关，而且和器件的抗辐射加固水平有关。高空核爆炸中子注量是毁伤空间飞行器中电子系统的重要因素之一，毁伤机理也就是使半导体器件永久失效。

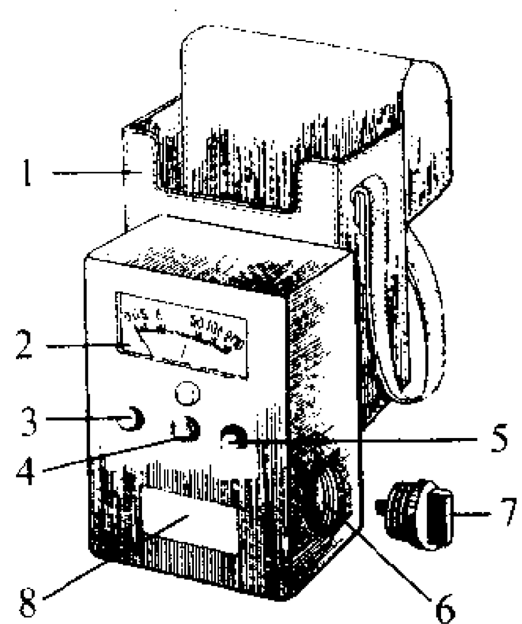
（撰写：乔登江　审订：吕　敏）

hefushe tanceyi

核辐射探测仪 radiac instrumentation 又称核辐射监测装备。发现和测量核爆炸早期和剩余核辐射的技术装备的总称。用于核辐射的发现和报警、γ 辐射周围吸收剂量（率）[$D^*(10)$、$\dot{D}^*(10)$]（以下简称 γ 辐射剂量（率））的测量、沾染检查和 γ 辐射、中子个人吸收剂量$D_p(10)$（以下简称个人剂量）监测等。为指挥员了解核辐射情况，确定部队战斗行动和采取防护措施提供依据。核辐射探测仪通常由探测器、测量部件、显示部件和电源等组成。核辐射探测仪可分为：射线指示仪——用于发现放射性烟云到达、测定沾染边界和地面 γ 剂量率，以及监测表面放射性沾染是否超过控制水平；γ 辐射报警器用于发现近距离核爆炸和放射性烟云到达，并及时报警，控制通风、过滤等三防设施工作，并显示工事外地面 γ 剂量率的变化；辐射仪——用于测量地面 γ 剂量（率），监测人体、武器、装备等的表面放射性活度，水、粮食等的体积活度或质量活度；核辐射［个人］剂量仪——通常供人员佩戴，用于测量 γ 辐射与中子的个人剂量。（撰写：毛用泽）

hefushe zhishiyi

核辐射指示仪 nuclear radiation indicator 发现和概略测量 γ 辐射剂量率和 β 表面活度的核辐射监测（或剂量探测）仪器（见图）。它由探测器、测量部件、指示器及电源等组成。用于发现核爆后放射性烟云到达和沾染边界，概略测量沾染地域的 γ 辐射周围吸收剂量率 $\dot{D}^*(10)$，监测物体表面 β 放射性沾染是否超过控制水平。（撰写：张俊生 修订：张宏廉 审订：毛用泽）



1—皮套；
2—cGy/h；
3—工作；
4—自检；
5—电检；
6—电源室；
7—电源室盖；
8—射线指示仪

核辐射指示仪

hegongye

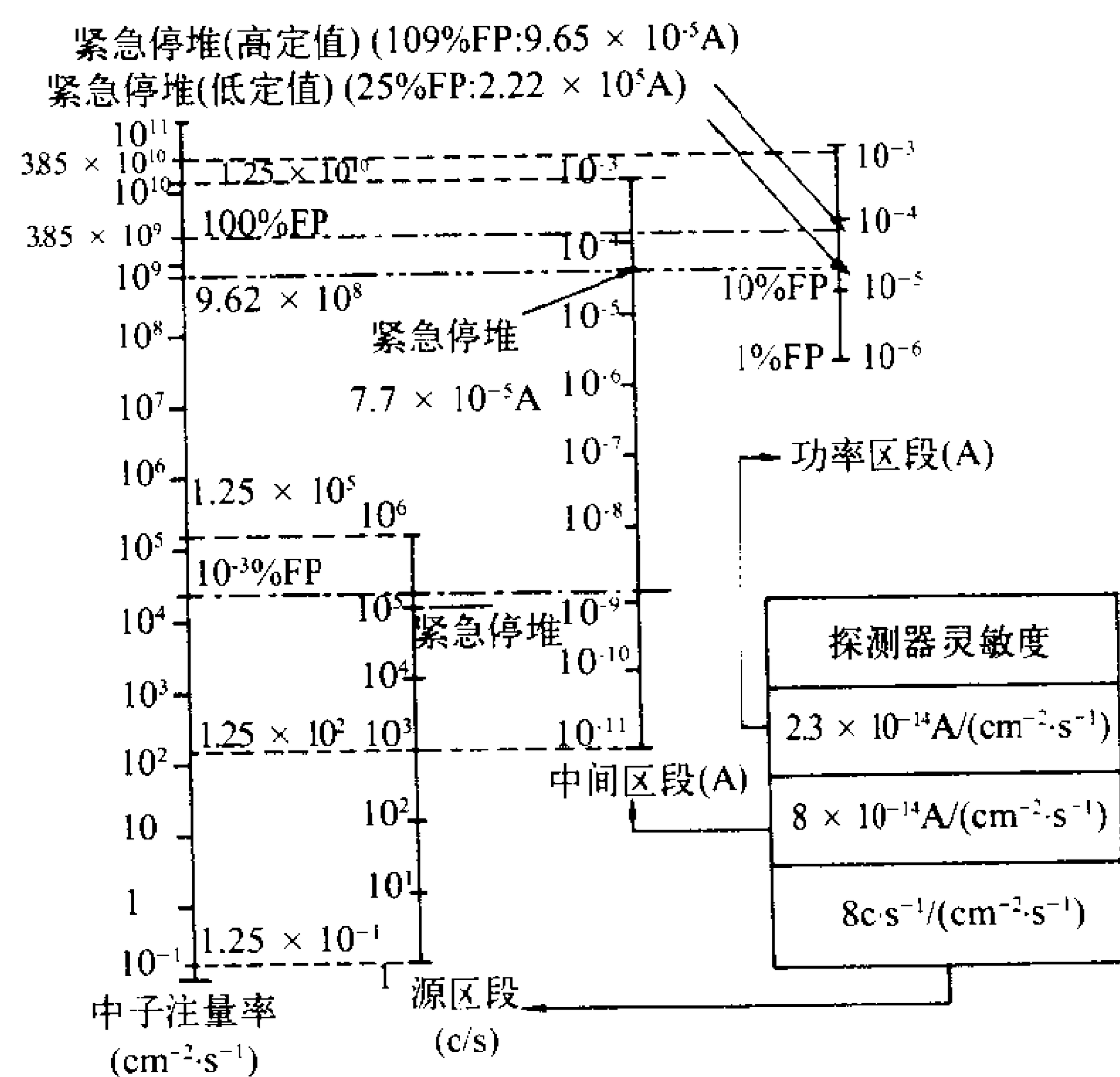
核工业 nuclear industry 又称原子能工业。利用核反应或核衰变（核跃迁）释放出的能量或辐射以获取一定的经济效益或社会效益的产业统称。核工业是新兴工业，处在迅速发展过程中。核工业大体上包括 6 个部分：(1) 核燃料工业。从事核燃料循环除反应堆以外各环节所有设施的设计、建造、调试、运行、维修和退役，其主要的产品是反应堆燃料和核武器装料。(2) 核武器工业。从事核武器的设计、制造、试验、维修和退役。(3) 反应堆工业。从事各种核反应堆装置的设计、建造、调试、运行、维修和退役。(4) 核电工业。从事核电厂的设计、建造、调试、运行、维修和退役。(5) 辐射工业。从事：① 放射性同位素的生产；② 含放射性同位素的设备、仪器、装置的制造；③ 用于科研、国防、工业、农业、医药各领域的辐射源（含中子源）和辐照装置（如钴源房、辐照加速器装置、辐射加工车间等）的设计和装备；④ 放射性废物的处理和处置；⑤ 辐射防护的技术和装备。(6) 核专用设备仪器和特殊材料工业。其中设备仪器有反应堆主回路和核辅助系统的核安全级容器、热交换器、泵、阀、电气和仪表设备，饱和蒸汽汽轮机，带电粒子加速器、辐射探测仪器，放射性物质操作设备，同位素分离设备，燃料后处理化工设备，放射性废物处理设备等；特殊材料有核纯石墨、重水、铍和氧化铍、锆合金、特殊铝合金、镁合金、特种合金钢、特殊不锈钢、特种镍基合金以及 ^{10}B、^{6}Li，氚等。此外，核工业应为尚未进入实用阶段的基础和实验研究基地提供专门研制的装备，如各种研究试验堆，实验堆和原型堆，高能粒子加速器，受控热核聚变装置，激光分离同位素装置，各种中间（原型）工厂等。

核工业的特点：(1) 具有放射性。由于核安全、辐射安全和环境安全的特殊要求，对所用的材料、设备以及制造和建筑安装作业均有不同于常规工业的严格质量要求，如高纯度、高精度、耐辐照、耐腐蚀、高清洁度、高密封性等。需要建立和贯彻执行质量保证制度，推广安全文化。(2) 具有很大的综合性。它是在原有工业和科学技术的基础上发展起来的，必须最大限度地利用已有的经验和成就，其范围包括地质勘探、采矿、冶金、化工、电力、机械制造、建筑、机电、电子、精密仪表、环境保护等产业和物理、化学、生物学、地质学、气象学、电子学、计算机、自动控制、材料科学、传热学、医学、心理学、经济管理学等科学领域。(3) 核工业需要较大的初投资和较长的开发周期。即使从外国引进技术，也需要投入很大的人力物力，坚持不懈地进行消化吸收，才能实现自主化和国产化。因此需要立足于长远的经济效益和社会效益，谨慎地制订长期发展规划。

（撰写：连培生）

hegonglü celiang

核功率测量 nuclear power instrumentation 对核反应堆核裂变中子注量率（换算为功率）水平的监测。本监测系统由探测器和电气电子设备组成。由于核反应堆从停堆状态至满功率状态的中子注量率水平一般变化 10 个数量级左右，因而中子注量率水平的测量分源区段、中间区段和功率区段三个相互搭接的测量区段来实现（见图）。源区段探测器一般采用硼计数管，其测量范围约 5～6 个数量级。中间区段探测器常采用



核功率测量（三区段）

补偿电离室，其测量范围约为 7～8 个数量级。功率区段探测器常采用非补偿电离室，其测量范围约 3～4 个数量级。也有用裂变室作为探测器、应用统计涨落原理处理的电子仪表电路构成的宽量程中子测量仪表来代替补偿电离室的。核功率测量一般用于核反应堆保护，属安全级仪表系统，其设计必须遵循反应堆保护系统准则。

（撰写：赵善德 审订：孙玉发）

hegongre zhuangzhi

核供热装置 nuclear heating unit 利用核供热反应堆向热力用户供应热能的装置。核供热装置可分为高温(约900℃)和低温(低于200℃)两类,但通常指低温供热反应堆装置,主要用途为供给建筑物采暖用热,供热温度一般低于150℃。这种装置通常包含反应堆回路、中间隔离回路和热网回路等三个回路。在闭合的反应堆回路内,冷却剂流经堆芯被加热,在主热交换器内将热能传给中间隔离回路的工质。中间隔离回路也是一个闭合回路,它将反应堆回路的放射性水与热网隔离开,并从主热交换器取得的热量在热网热交换器内传给热网水,热网回路再将热水供应各用户(参见供热反应堆)。

(撰写:马昌文 审订:李金才)

hegusuan qicai

核估算器材 nuclear estimation equipment 又称核爆炸预测器材。对核爆炸毁伤因素参数与遭袭目标毁伤效应进行预测评估的各种仪器和设备。是用于数学计算、数据处理、标图绘图和文书拟制等参谋作业的工具。通常分为手动和自动作业器材二类。前者主要是早期应用的作业器材,如20世纪80年代以前使用的各种防原子手册与图表、防原子计算尺、估算盘和辅助作图工具等。这类器材结构简单、经济轻便,但作业内容有限,估算结果粗略,操作不够直观方便。而自动作业器材,基本上是以计算机系统为核心,作业内容多,自动化程度高,虽然技术复杂,价格较贵,但其作业速度快、结果准确度高、操作直观方便,而且发展潜力很大,是目前应用的主要装备器材。根据使用环境,这类器材又可分为以笔记本计算机为核心、适于野战使用的便携式核估算器,如防化指挥作业箱,以及采用成套计算机与有关外部设备,作为车载或固定式的核估算系统,如核爆监测系统中的核估算中心站。

(撰写:李江辰 审订:王坚)

he he fushe anquan de guojia jichu jiegou

核和辐射安全的国家基础结构 national infrastructure of nuclear and radiation safety 国家核安全和辐射防护基础结构包括:法规体系;授权批准和检查受管制实践和干预活动以及强行实施法规和条例的审管部门;足够的资源和适当数量的经过训练的人员。国家基础结构还必须包括为解决那些已超出授权从事辐射源实践的法人的法定职责范围的但为社会所关心的问题的途径和手段,如放射性废物的处置、干预的准备(其中特别是引起公众照射的应急)和在一般环境中放射性物质积累的探测等;还应负责没有其他机构负责的辐射源的控制,如天然源和过去实践的现在又无法找到机构负责的放射性残存物。国家基础结构也必须提供辐射防护安全所需的但却超出了受权进行实践的人的能力的设施和服务。这类设施和服务包括为进行干预、个人剂量测定、环境监测以及为辐射测量设备的校准和比对所需的设施和服务。服务还可能包括集中登记职业性照射记录和提供设备可靠性的信息。国家方面提供的这类服务并不能减轻受权进行实践的人对核安全和辐射防护应负的最终责任。国家基础结构应为教育和培训辐射防护与核安全的专业人员以及为这些专业人员之间交流信息作出适当安排,并建立相应的手段,向公众及其代表和新闻媒介通告关于涉及辐射照射的活动中的健康和安全方面的事宜和管理程序。所提供的信息便于政界确定国家的防护与安全方面的优先项目和分配这方面的资源。对辐射防护和核安全来说,国家基础结构是做好这一工作的基础。(撰写:潘自强)

he heixiazi

核黑匣子 nuclear black box 用来授权使用战略核武器的密码指令装置的俗称。由于具有远距离攻击能力和巨大的杀伤破坏力,战略核武器在国家政治、军事和外交等方面都具有特殊的作用,其使用决策权掌握在国家最高行政当局手中,因此核黑匣子都是由国家元首直接控制。在美国,由总统和国防部长组成国家指挥当局。核黑匣子内存有总统个人的识别密码,以确保只有总统本人才能使用核黑匣子。但同时美国还为总统使用战略核武器制定了一套办法,它包括密码系统、控制指令和发射核武器密码指令的鉴别检查手段,还要求总统必须与授权的官员、军事助手和总统办公室主任配合起来才能打开核黑匣子。俄罗斯战略核武器的使用决策权,也是由最高政治领导人(前苏联为总书记,现为总统)和国防部长组成的最高统帅部直接控制。在前苏联,总书记、国防部长和总参谋长都配备有下达密码发射指令用的核黑匣子。他们相互制约,必须联合行动才能使用战略核武器,任何人都不得单独授权使用战略核武器。目前这种核黑匣子掌握在俄罗斯总统、国防部长及总参谋长手中。核黑匣子的尺寸为35 cm × 30 cm × 10 cm,重约10 kg,白色合金镶边,里面装有微型电脑。这些核黑匣子的制造工艺都是一样的,但每个都有其主人的标记。

(撰写:段占元 修订:叶名兰 审订:唐西生)

hehuaxue

核化学 nuclear chemistry 用化学方法研究原子核及核反应的化学分支学科。有时,核化学广义地用于表示核科学的化学方面。1934年法国科学家F.约里奥(Joliot)和I.居里(Curie)用钋的α粒子轰击铝,核反应为$^{27}Al(\alpha,n)^{30}P\xrightarrow[2.5\,min]{\beta^+}{}^{30}Si$,在他们的工作中,除了用计数管测量被α粒子照射后的靶子的放射性外,还第一次用化学方法分离了核反应产生的放射性核素^{30}P。这个工作成为核化学研究的开端。核化学主要研究核性质、核转变的规律及核转变的化学效应。根据研究对象的不同,核化学又可划分为若干分支学科,如裂变化学、聚变化学、热原子化学、反冲化学、核衰变化学、靶化学及宇宙化学等。

(撰写:郭景儒 审订:崔安智)

hehuodong anquan

核活动安全 safety of nuclear activities 在涉及核的活动中(如核设施的运行、核材料的生产、使用和运输、放射性废物的贮存、处理和处置),活动受到充分的防护,且对人员、公众和环境不会产生不适当的辐射危害。

(撰写:董柏年 审订:潘自强)

he huo fushe yingji

核或辐射应急 nuclear or radiological emergency 须立即采取某些超出正常工作程序的行动以控制核或辐射事故发生或减轻事故后果的状态。可以把涉及核设施、放射性物质应用、放射性物质运输等事故出现的紧急状态统称为辐射应急或按IAEA的提法总称为核或辐射应急。通常将核设施(包括核电厂、核燃料循环设施、核临界装置、研究堆等)发生事故导致的应急状态称为核应急。而把涉及非核设施(放射性物质在工业、研究、医学、教育领域的应用)发生事故导致应急状态称为辐射应急。核设施在采取种种预防措施后,仍不能完全排除发生事故甚至严重事故导致核应急的可能性,放射性物质向环境的释放可能造成环境的污染和影响公众的健康、安全。

非核设施辐射应急的时间和空间范围相对于核设施发生的严重事故而言一般是有限的，然而经验表明这些事故可能导致对公众成员相当大的辐射剂量，偶尔也导致早期死亡。

（撰写：王 法 审订：施仲齐）

hejitai

核基态 nuclear ground state 原子核处于最低能级的状态。核基态的性质可以用核的质量、结合能、能级自旋、宇称、核的形状、大小、电荷分布、物质分布及核的电磁多极矩等来描述。核基态既有稳定的，也有不稳定的。对于不稳定的核基态，还具有特定的衰变性质。

（撰写：郑春开 审订：卢希庭）

hejifatai

核激发态 nuclear excited state 比基态能量高的核态。核激发态不稳定，可以通过γ跃迁等退激到较低能态或基态。一般而言，集体转动、振动激发态的寿命非常短，而有些单粒子激发态的寿命可以很长，形成同核异能态。

（撰写：许甫荣 审订：卢希庭）

H

hejishu yingyong feiwu

核技术应用废物 waste from application of nuclear technology 来自放射性同位素生产和应用过程产生的放射性废物。又称同位素应用废物。放射性同位素已被广泛应用于工业、农业、医疗、科研和教学中，按其使用类型可分为密封放射源和开放型放射性同位素。密封放射源一般活度较高、半衰期较长，射线的能量也较高（如 ^{60}Co，^{192}Ir，^{137}Cs 等），常用于检测装置（如料位计、测厚仪等）、放射线治疗、辐射加工、种籽辐射诱变等。开放型放射性同位素一般活度较低、半衰期较短、射线能量较低（如 ^{131}I，^{32}P，^{35}S，$^{99}Mo-^{99}Tc$ 等），常用于核农学和核医学。大部分医用同位素的寿命短，经过贮存衰变后可以达到免管水平，作一般废物处置，但要注意其中长寿命核素杂质的影响。寿命较长的密封废放射源需要长时间的严格监控管理，以防止丢失，造成对公众的危害。

（撰写：孙东辉 审订：赵亚民）

hejiance

核监测 nuclear monitoring 对核武器爆炸、早期与剩余核辐射和核事故场外应急核辐射的探测以及对其毁伤效应的预测和评估。它包括核爆监测、核辐射监测、场外应急核辐射监测和核军备控制的核查技术等。核爆监测的内涵是核爆探测与核估算。核爆探测是指探测核爆炸的光学、力学、电磁学与核辐射等信号，确定核爆炸信息（参数），包括核爆炸的时间、位置、威力、方式（比高、比深或空间）和弹型（原子弹、中子弹等）。核估算是指预测、评估核袭击后果（毁伤效应），包括人员、武器装备等瞬时毁伤效应与地面放射性沾染效应等。核辐射监测是探测早期与剩余核辐射（包括战场环境辐射水平监测、人员剂量监测与人体和物体放射性沾染水平监测），评估人员体内外照射剂量与急性辐射危害。场外应急核辐射监测是指在核电厂等核设施发生严重事故时，为发现和查明场外环境放射性沾染与辐射的水平而进行的辐射监测。核军备控制的核查技术是指为监督各缔约国遵守核军备控制各种条约情况，所采用的核爆探测、核辐射探测等专门技术。核监测是战时 C^4ISR 系统需要的核信息获取手段，也是核防护的主要组成。它是使用核武器现代战争条件下，从统帅部至合成军部（分）队组织作战指挥和军队防护所必需的。通常由核监测装备实施核监测。中国人民解放军已在防化装备体系中形成具有本国特色的核监测装备体系与型谱。核监测专业技术是核电子学与探测技术和辐射防护及环境保护的两个学科的分支，它涉及核爆效应现象学，辐射防护剂量学，核电磁脉冲、光电、压电、雷达、核辐射（X，γ，β，α 与中子）等探测技术，核爆与核辐射探测数据获取、处理、模式识别、决策辅助等微电子学与微计算机现代信号处理技术，核信息数字化、网络化通信技术等专业技术以及可靠性、维修性、计量、标准化、系统分析等基础技术，是一个各学科交叉边缘性较强的新兴分支学科。

（撰写：毛用泽）

hejiegou

核结构 nuclear structure 原子核的组成与其基本性质。原子核是由核子组成的，核子之间的相互作用力是核力。原子核的结构就是由核子在核力的作用下的运动所决定的。核内的核子在其他核子所提供的平均场中的运动具有单粒子运动的特性，由此决定了原子核能级的壳层结构。原子核作为整体还可以有转动、振动等集体运动，使原子核的结构更加复杂。单粒子运动与集体运动是相互影响的。对原子核结构的深入研究需要涉及到亚核子的介子和夸克自由度，对核力的根本了解也离不开量子色动力学（QCD）。目前，在 QCD 基础上定量处理原子核结构问题还存在许多实际困难。

（撰写：郭 华 审订：叶沿林）

hejiegou moxing

核结构模型 nuclear structure model 研究原子核内部核子的运动状态和相互作用以及原子核的集体运动，并能够反映原子核基本性质的理论。随着核科学技术的不断发展，人们对原子核结构认识的层次不断深入，分别提出了不同的原子核结构模型。由于核力作用的复杂性和核多体问题求解的困难，人们至今还没有彻底解决核结构的基本问题。因此不同的核结构模型都有一定的适用范围，仅是人们对原子核结构认识在一定层次上的总结。

（撰写：郭 华 审订：叶沿林）

hejubian jishu suoshelingyu

核聚变技术所涉领域 spin-off of fusion technology 受控核聚变研究涉及多门学科和多个技术门类，诸如强磁场、超高真空、制冷与超导、高功率特殊供电、激光、超高频、高功率射频与微波、高功率粒子束和从远红外至X射线各波段的诊断技术以及大容量超高速计算机技术等。根据美国的统计，由核聚变研究推动的技术有 138 项，其中磁技术 30 项、材料技术 18 项、真空技术 12 项、高功率电源及其电子学 19 项、储能技术 5 项、科学研究工具 23 项、科学研究诊断 10 项、计算机与控制 8 项、粒子束技术 13 项，遍布高新技术各个领域。按照日本的统计，核聚变研究推动其他领域发展的和其他领域与核聚变相互促进的共占 81%，可见，核聚变研究是当代高新技术发展的重要推动力。

（撰写：钱尚介 审订：李启瑞）

hejunbei kongzhi

核军备控制 nuclear arms control 对核军事力量的限制、控制、削减和消除。核军备控制的目的在于降低核力量对抗水平，以增加核国家间军事关系的稳定性，以及防止核扩散，

以减小核冲突发生的可能性，从而增加世界的核安全。由于核武器具有空前巨大的破坏力，并给人类生存带来严重威胁，从1945年核武器问世起，核军备控制就成了整个军备控制的核心和主体。核军备控制内容大体可分为四个方面：(1)对核军事力量产生的重要环节和武器状态的限制。如《全面禁止核试验条约》限制了一些国家通过核试验提高其核武器技术水平，而《禁止生产武器用裂变材料公约》不仅可以遏制无核武器国家发展核武器，也可以制约一些国家核力量的规模。(2)对核军事力量的削减和消除。如《第一阶段削减战略武器条约》为大幅度削减战略核武库开了先河，而按照《第二阶段削减战略武器条约》，美俄双方将把各自的战略核弹头总数各削减到3000～3500枚。(3)防止核武器扩散。如《不扩散核武器条约》以及有关建立世界无核区的条约，对防止核武器的扩散起到了积极作用。(4)建立双边或多边核军事力量的信任措施。建立信任措施对于消除导致各方猜疑和敌视，减少因情况不明和误解而引起偶发性的对抗行动，以增进有关国家和地区的安全无疑具有重要意义。

（撰写：段占元　审订：唐西生）

hejunbei kongzhi hecha jishu

核军备控制核查技术　verification technology of nuclear arms control　在核军备控制条约执行过程中用于履约核查的技术。当前核军备控制的核查主要涉及核武器试验、核武器裁减及核不扩散（包括武器用裂变材料生产）等方面。核查涉及的科学技术领域非常广，而且随着科学技术的发展仍会不断扩充。下列技术是目前广为应用的核查手段：(1)遥感技术。迄今为止，遥感在核查中一直作为一种国家技术手段，它可以发现、鉴别和统计核武器运载工具，监视和探测核试验的准备活动以及核设施的生产状况。(2)声学和地震学方法。通常可以利用次声探测发现大气层核试验，利用地震和水声测量发现地下和水下核试验。此外还可以利用地震学方法识别核爆炸和天然地震，并通过地震波的测量来推算核爆炸的威力和地点。(3)核物理学方法。利用探测γ射线和中子辐射可以探测、识别核弹头和武器用裂变材料，鉴别核爆炸和化学爆炸，还可以探测运行中的或运行过的核反应堆。(4)放射性核素监测和环境取样。这主要是探测^{85}Kr及^{133}Xe等裂变产物在环境中含量的变化来判别核事件。(5)电子学方法。核查中的各种探测装置几乎都需要利用电子学系统进行数据存储和分析，此外在核裁军核查中，还可以利用电子学方法制作既安全又可靠的标签和封记。事实上，单独一种核查方法很难满足要求，即使是对某一条约的核查也往往涉及多种核查技术。可以预料，条约对核查有效性要求的提高将会进一步推动核查技术的不断发展。（撰写：段占元　审订：唐西生）

hekeji

核科技　nuclear science and technology　核科学与核技术的简称。1896年法国物理学家贝可勒尔发现了铀的天然放射性，从此人类开始了对原子核的研究，这种研究领域就称为核科学。核科学的研究对象包括核结构、放射性、核裂变和核聚变等。涉及到的研究学科有核物理、核化学、加速器、反应堆、核聚变、辐射防护与屏蔽物理、同位素生产与分离、核材料、核医学、核农学等。核技术是研究如何将核科学研究中所揭示出的原子核变化规律及其固有和伴随产生的物理现象加以实际应用的科学。

核技术应用主要包括核能的利用及同位素和辐照技术的利用。核能的利用主要是指：(1)利用放射性同位素衰变时放出的能量做成电池，广泛用于宇宙飞船、人造卫星、无人管理的灯塔、心脏起搏器等。(2)利用重核裂变会放出巨大能量。核电站、空间堆电源、核供热堆、用于船舶或潜艇的核动力装置，是实际应用这种裂变能的主要代表。(3)利用轻核聚变时放出的比重核裂变时放出的更加巨大的能量。聚变堆的研究和开发就是为了利用这一能量。聚变堆的建成和商业运行将最终解决人类所需的能源问题。因为它所用的燃料（氘和氚）取之于大海。核能最早是用于军事目的，原子弹就是利用^{235}U或^{239}Pu裂变时放出的巨大能量（瞬间释放出来）制成的。而氢弹则是利用轻核（氘和氚）聚变时放出的巨大能量制成的。氢弹的威力要比原子弹大数百倍。

同位素和辐射技术应用主要包括：(1)同位素示踪技术（水资源探测，农业科学研究等）。(2)辐射加工（电线电缆的绝缘材料改性，热缩管的制备，塑料发泡，表面涂层固化，橡胶辐射硫化，木材—塑料复合材料辐射交联，接枝和降解，离子注入表面改性，半导体生产、辐射保鲜，辐射消毒等）。(3)同位素仪器仪表（工业检测仪表，探伤机，集装箱检测等）。(4)核医学方面的应用（医学诊断，放射性免疫分析，肿瘤诊断和治疗用体内和体外放免药物等）。(5)三废治理和环境保护工作中的应用（电子束除SO_2/NO_x，污水处理等）。(6)核农学方面的应用（辐射育种、辐射不育灭蝇等）。

（撰写：傅满昌　审稿人：徐　铢）

hekongmo

核孔膜　nuclear track membrane　利用入射重离子穿透绝缘物质薄膜形成的具有超细孔径微孔的一类薄膜。其加工原理是，当加速器中的重离子或核反应堆中子产生的裂变碎片射入薄层绝缘物质（如聚碳酸酯、聚酯、聚偏氟乙烯、聚酰亚胺、CR－39、白云母和石英等）时，每一粒子沿其入射轨道均在物质中留下辐射损伤径迹。这一贯穿径迹通过适当的蚀刻剂溶出辐射损伤物质并进而与薄膜物质发生反应，在绝缘薄膜中形成笔直微孔。控制照射的重粒子数目可改变膜孔密度（单孔膜至$10^{12}\,m^{-2}$）；改变蚀刻时间可以控制孔径（约3 nm至几十微米）。选择不同的薄膜材料可获得耐酸、耐碱、耐高温（上至1000℃）等特性。核孔膜的特点是，微孔呈笔直筒状，孔形一致，孔径均一，孔密度可调，表面光滑透明，目前已在医学和微电子工业中用于滤除气体和液体中的固体微粒和细菌。此外，核孔膜还可用于国防工业中对物质进行高效分离，甚至用于核材料的核查等方面。

（撰写：郭士伦　审订：吕延晓）

heli

核力　nuclear force　核子间的强相互作用力。它能克服质子间的库仑斥力，将原子核中的核子维系在一起。原子核的质量、结合能等性质以及核衰变、核反应等核现象都与核力相关。核力是一种短程力（力程约$2\times10^{-15}\,m$）；核力具有饱和性；核力近似地具有与电荷无关的性质；核力与作用核子的自旋相对取向及总自旋与轨道角动量的耦合相关。至今，人们对核力的认识还不完善。自由核子间散射实验和双核子束缚体系——氘核基态性质研究获得的唯象核势应用十分广泛并取得很大成功。但唯象核势不能给出有关核力起源的信息，而且所含多个参量也需由实验来确定。在核力的微观研究中主要有两种模型。1935年汤川秀树（H.Yukawa）提出的核力的介子场理论，深化了对核力的认识，在描述核力的吸

引部分取得了很大成功。按核子的夸克结构模型，核力归因于交换一对夸克反夸克对。由于介子实际是色中性的夸克反夸克对，介子交换和色中性夸克反夸克对交换在原则上提供了描写核力的两种等效途径。但是因为后者在理论上处理十分困难，目前在许多场合，核力的定量描述仍使用唯象的介子交换模型。 （撰写：江栋兴 审订：卢希庭）

heliebian

核裂变 nuclear fission 一个重原子核分裂成两个或两个以上质量为同一量级的原子核（裂变碎片）的现象。核裂变是一个复杂的过程，核液滴模型将核裂变描述为核的形变运动，越过裂变势垒（见图）。分裂成两个碎片的二分裂过程如下：核从基态形状经过鞍点(长短轴之比约为 2:1 的椭球)，到断点成为两个接触的椭球形变的碎片。在断点，两椭球重心间距离约为 2×10^{-14}m。在核向断点运动期间，可能有断裂前中子和核巨偶极共振（GDR）γ 射线发出。在断裂后的 10^{-19}s 时间内，两碎片在它们间的库仑力作用下加速，获得碎片总动能。在 10^{-19}s 到 10^{-15}s 期间，具有激发能的运动碎片先发射瞬发中子和 GDR γ 辐射；在 10^{-15}s 到 10^{-7}s 期间，碎片发射统计 γ 射线回到基态。在这之后，裂变碎片还将经历一系列 β 衰变，最后成为稳定核素。在 β 衰变过程中还可能发射缓发中子。每次裂变释放能量约 200 MeV，其中碎片动能约 170 MeV，瞬发中子和 γ 射线能量十几兆电子伏，β 衰变能十几兆电子伏。 （撰写：韩洪银 审订：张焕乔）

核裂变势垒

hemenkan guojia

核门槛国家 nuclear threshold state (NTS) 一般认为研制过核武器但在 1967 年 1 月 1 日以前没有核武器的，至今还没有参加《不扩散核武器条约》(NPT)，并拥有未受核保障的核材料和核设施的无核武器国家。

（撰写：金惠民 审订：严叔衡）

henei de kuake ziyoudu

核内的夸克自由度 quark degree of freedom in nuclei 核内强子的夸克结构如果与自由强子的夸克结构不同，则称存在核内夸克自由度。1983 年欧洲 μ 子协作组 (EMC) 发表了他们用 μ 子在核上作深度非弹性散射的实验结果，表明铁原子核内核子的形状因子与氘核内核子的形状因子显著不同。很快证实，这种现象是普遍的，称为 EMC 现象。经 10 余年的反复研究，现在普遍认为 EMC 现象表明存在核内夸克自由度。原子核理论最终要建立在夸克层次上。

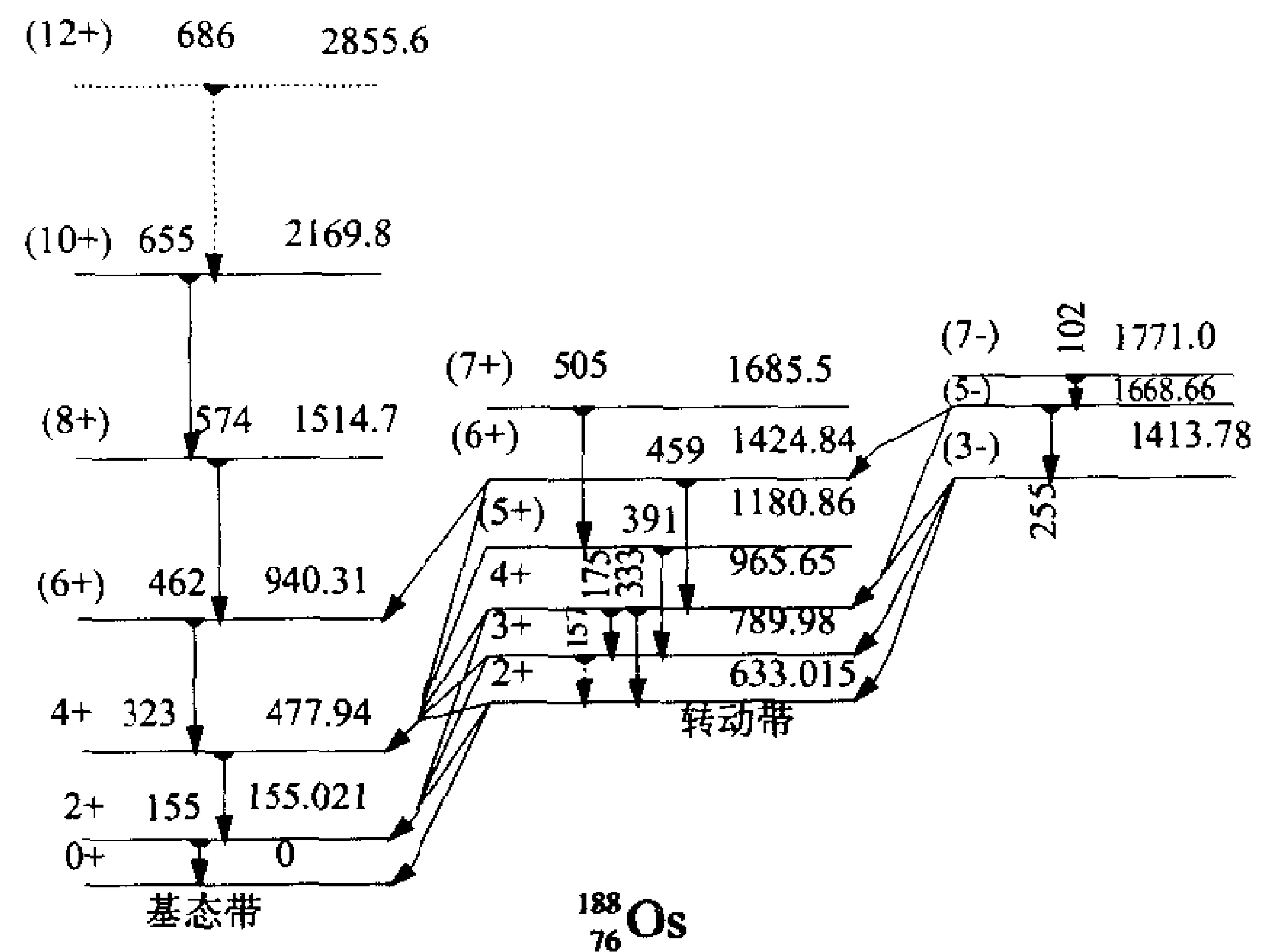
（撰写：张启仁 审订：卢希庭）

henengji

核能级 nuclear energy level 由能量确定的核态。它包括单粒子能级和集体运动能级，每条能级还有确定的自旋和宇称。理论上，可以通过求解量子多体哈密顿量本征值，得到核能级。实验上，可以通过测量核跃迁能量等，确定能级。在球形核情况下，单粒子能级是高度简并的；当变形时，单粒子能级退化为二重简并。比较常用的、计算单粒子能级的方法是 Nilsson 模型或 Woods-Saxon 势模型。单粒子能级分布具有壳层结构。集体运动能级包括集体转动能级和集体振动能级。这些能级组成集体转动谱（又称转动带）或集体振动谱（振动带）。 （撰写：许甫荣 审订：卢希庭）

henengji gangtu

核能级纲图 nuclear energy-level scheme 表示核能级的能量、自旋、宇称以及能级间的 γ 跃迁及其多级性的图（见图）。图中每条横线表示能级，横线左边的数字表示能级的自旋值，而数字右边“+”或“−”号表示能级的正宇称或负宇称。横线右边的数值表示能级的能量。箭头表示 γ 跃迁，而其数值



核能级纲图

表示 γ 跃迁的能量，有时标出多极性。图中的括号表示实验结果不确定。 （撰写：许甫荣 审订：卢希庭）

henongxue

核农学 nuclear agricultural science 核科学与农业科学相结合的一门边缘学科。核农学着重研究核素（稳定核素、放射性核素及其标记化合物）、核辐射及相关科学技术在农业科学和农业生产中的应用，包括核辐射与核素示踪在农、林、牧、渔、副业及其产品加工中的应用。核辐射与生物物质相互作用产生的物理、化学与生物效应为突变育种、昆虫不育防治害虫、食品（农产品、水产品、畜产品）保藏，以及低剂量刺激生物生长等，奠定了坚实的科学技术基础。同样，稳定核素与放射性核素示踪在阐明生物物质的代谢与运动规律方面发挥的独特作用，为农业科学开展分子水平的基础研究，以及促进农业增产和保护农业生态等方面提供了一种不可替代的先进手段。目前，核农学已成为现代农学的重要组成部分，也是农业现代化的标志之一。

（撰写：吕廷晓 审订：卢玉楷）

hepaodan

核炮弹 nuclear artillery projectile 用火炮发射的装有核战斗部的炮弹（见图）。核炮弹的射程一般只有十几千米至几十千米，需采用低威力核战斗部，属于战术核武器的一种。核炮弹可以根据核战斗部类型分为原子炮弹和中子炮弹两种。原子炮弹为裂变型核战斗部，威力一般在几百吨至几千吨 TNT 当量之间，主要用来摧毁敌方机场、桥梁、部队集结地等目标。中子炮弹为增强中子辐射型核战斗部，威力一般在 1～2 ktTNT，主要利用中子杀伤部队集结地和集群坦克中的



美国国家原子博物馆展出的 MK-23 (16 in) 核炮弹

图出处：James N.Gibson. Nuclear Weapon of the United States Published by Suhiffer Publishing Ltd. 1996. 226

人员。核炮弹体积小、重量轻，便于在战场上灵活使用。新型的核炮弹在弹体内通常装有定时器、存储器、引信部件、电源、电子程序装置、目标探测器和发动机等装置，目的是为了提高快速反应能力、射击精度、加大射程等。美国、前苏联曾广泛部署了核炮弹武器系统，除了本土外，还扩展到西欧、东欧地区。随着冷战的结束，美、俄核武库正在削减，核炮弹正在被新的先进的常规武器所取代。

（撰写：赵春洋　修订：竺家亨　审订：王连奎）

he quyang xitong

核取样系统　nuclear sampling system　为分析水质及其放射性核素和活度而从反应堆一回路系统取出有代表性的液体和气体样品的系统。压水堆核电厂主要的取样点有：反应堆冷却剂环路的热段，稳压器汽、水空间，余热排出热交换器，主泵轴封注水和蒸汽发生器二次侧排污水等。将这些样品降温(小于 50℃)、降压(小于 0.3 MPa)后，通过管线送至取样间集中取样。来自化学和容积控制系统、硼回收系统和废液处理系统的样品，都无须降温降压，经管线直接送至取样间。作为核取样系统一部分的事故后取样系统，在发生反应堆设计基准事故和严重事故后，能从反应堆的安全壳地坑取出经稀释的样品。（撰写：戚正文　审订：张维忠）

heranliao

核燃料　nuclear fuel　含有易裂变核素，能够在反应堆里实现自持裂变链式反应的材料。有实用价值的易裂变核素有3个，即 ^{235}U，^{239}Pu 和 ^{233}U。任何一种核燃料必须含有上述3种核素中的一种或几种。^{238}U，^{232}Th 虽然不是易裂变核素，但是重要的可转换核素，常与易裂变核素掺合使用，所以广义的核燃料将它们包括在内，具体地讲就是铀、钍、钚以及超钚元素。核燃料的裂变反应和转换反应原则上只取决于上列核素的核性质，而与其存在形态或制造过程无关。因此，根据不同类型反应堆的要求，可采用不同形态的核燃料，如固体核燃料(金属、陶瓷或弥散型)、液体核燃料等。

（撰写：何可学　审订：连培生）

heranliao guanli

核燃料管理　nuclear fuel management　在核燃料的制造、使用、贮存、后处理及回收复用过程中所进行的安全、技术和经济等方面活动的总称。其目的是在确保安全的前提下，力求获得最好的经济效益和合理的核资源利用。核燃料管理有堆外管理和堆内(或核电厂)管理之分。堆外管理主要指核燃料循环前段和后段各过程中的为优化燃料利用率，并稳定燃料供应的技术、经济分析和管理工作。堆内管理(参见*堆芯燃料管理*)除做好燃料设计、堆芯装料布置和换料方案以外，还应包括制定反应性控制和运行方式。例如在压水堆中采用硼溶液化学补偿或可燃毒物 Gd_2O_3，对高燃耗组件展平功率、提高燃料利用率及核电厂负荷因子有良好的作用。堆内燃料管理还应考虑乏燃料组件在现场的检查、贮存和运输；以及辐射、临界和放射性废物等安全管理。

（撰写：李文拔　审订：张忠岳）

heranliao houchuli

核燃料后处理　nuclear fuel reprocessing　对反应堆中用过的核燃料进行化学处理，除去裂变产物，回收未用尽的和新生成的核燃料物质的过程。核燃料后处理是闭式核燃料循环中的一个环节。其任务是除去裂变产物，回收并纯化核燃料中的铀、钍和钚，同时对处理过程产生的放射性废物进行处理。从反应堆卸出的乏燃料，在进行化学处理之前要在水池中冷却放置一段时间，然后进行首端处理，实现燃料束的解体以及燃料芯和包壳材料的分离。

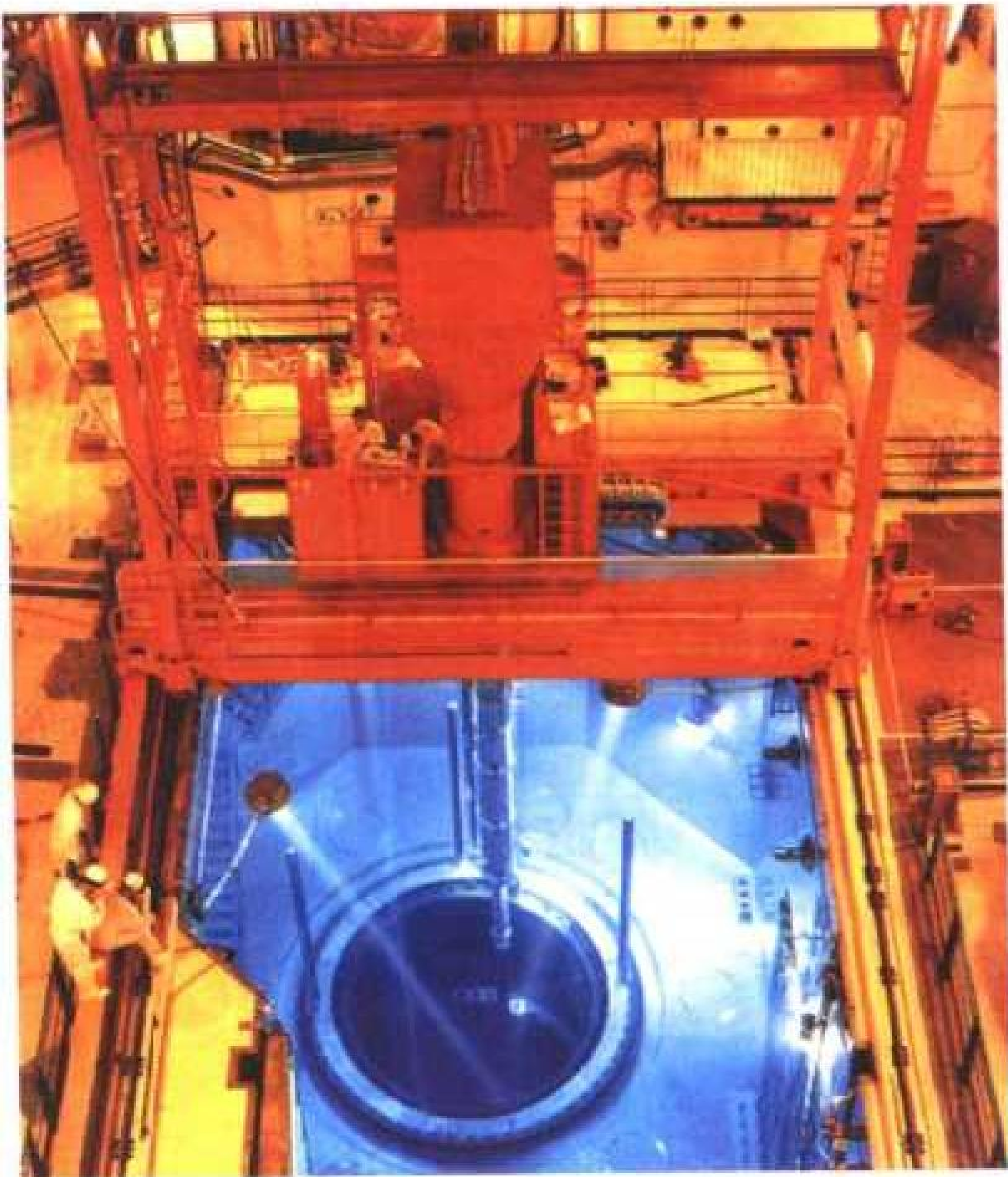
化学分离纯化过程是核燃料后处理的主要工艺阶段，根据是否在水介质中进行而分为水法和干法两大类。水法流程是先把燃料芯用硝酸溶解，然后采用沉淀、溶剂萃取、离子交换等在水溶液中进行的化学分离纯化过程；干法流程则采用氟化挥发、高温冶金、液态金属萃取、熔盐电解等在无水状态下进行的化学分离方法。目前工业上应用的后处理流程都是水法流程。历史上曾采用沉淀法流程从辐照过天然铀中提取核武器用钚。以磷酸三丁酯(TBP)为萃取剂的普雷克斯(Purex)流程是目前世界各国用来处理核电厂辐照过核燃料的工艺流程。离子交换法则作为钚或镎产品的纯化、浓缩手段而用于尾端处理。

核燃料后处理具有与一般化工过程不同的显著特点：(1)有发生临界事故的危险。要采取充分的、保证临界安全的措施。(2)强放射性。后处理过程要在有厚重混凝土防护的密封室中进行，并实行远距离操作控制和维修。要考虑强辐射对试剂和化学过程的影响。(3)高的技术要求和指标。水法后处理过程要求高的裂变产物净化系数，如 10^7；高的铀钚分离系数，如 10^8；高的铀、钚回收率，如大于 99.5%。

（撰写：章泽甫　审订：朱永赌）

heranliao huanliaoji

核燃料换料机　refuelling machine　又称装卸料机。核反应



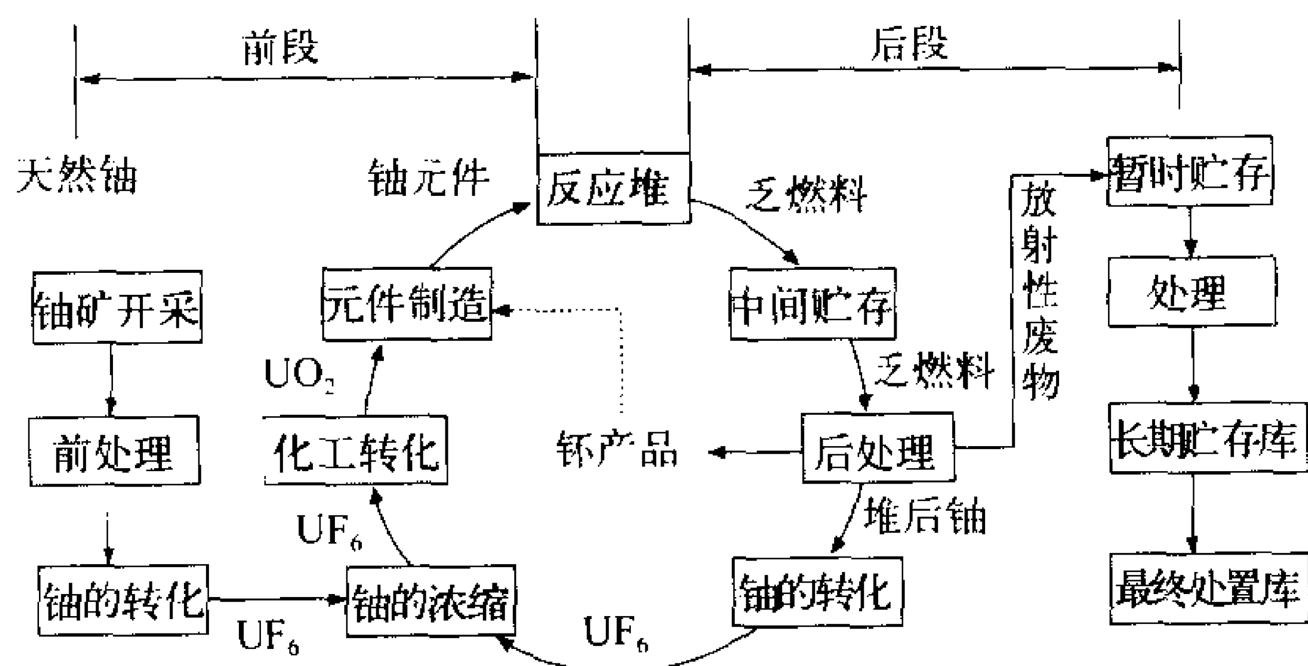
核燃料换料机外观

堆中用于装载、更换和卸出燃料的设备（见图）。不同堆型的装卸料机结构也各不相同（参见重水堆换料机）。典型的压水堆核电厂装卸料机如图。其主要功能是在反应堆首次启动前或在停堆换料期间将新燃料组件装入堆芯、将乏燃料组件卸出堆芯或在堆芯内倒换燃料组件。为确保换料时操作人员所受照射保持在可接受的限值内，燃料组件操作要在足够深的水屏蔽下进行。装卸料机属于安全有关设备，须遵循单一故障准则，采用双钢丝提升系统及多重安全保护措施。此外，装卸料机还具有手动操作功能，在断电等事故状态下可用手动进行应急操作，使燃料组件处于安全的位置。由于操作的对象是燃料组件，因此，它还应具有较高的定位精度及可靠性。

（撰写：吴明　审订：左民）

heranliao xunhuan

核燃料循环　nuclear fuel cycle　核燃料进入反应堆前的制备和在反应堆中燃烧及以后的处理的整个过程。它包括：(1) 铀（钍）资源开采、矿石加工冶炼、铀同位素分离和核燃料加工制造；(2) 燃料在反应堆中使用；(3) 乏燃料后处理和核废物处理、处置等三大部分。也可以不对乏燃料进行后处理而直接处置。前者为闭式核燃料循环，后者为开式核燃料循环或一次通过式核燃料循环。按核燃料性质可分为铀系燃料的U–Pu循环和钍系燃料的Tu–U循环。U–Pu循环中轻水堆（热中子堆）核电厂闭式U–Pu循环（见图），已经工业实现。快中子增殖堆核电厂闭式U–Pu循环尚未工业实现。Tu–U循环可利用另一种核资源钍，此循环尚在研究开发中。



轻水堆核电厂闭式铀—钚核燃料循环图

（撰写：章泽甫　审订：朱永赌）

heranliao xunhuan chengben

核燃料循环成本　nuclear fuel cycle cost　核电厂生产单位上网电量平均需花费在核燃料循环方面的费用。该费用被分为前段和后段两部分。前段费用（front-end cost）是核电厂向核燃料供应商采购核燃料的费用。该费用是天然铀生产、转化、富集和燃料组件制造等环节所需费用的总和。后段费用（back-end cost）是核电厂为处理处置反应堆卸出的乏燃料所需支付的费用。一般采用核电厂在运行过程中提取乏燃料处理处置基金、交由乏燃料处理处置单位承包处理处置的方式。乏燃料处理处置单位，根据国家政策，确定采用后处理方式还是直接处置（一次通过）方式。后处理方式包括乏燃料的运输、贮存、化工后处理、放射性废物处理和最终处置等环节；直接处置方式包括运输、贮存、包装和最终处置等环节。其总费用为各环节所需费用的总和。核燃料循环成本一般占核电厂发电成本的15%～30%（参见核燃料循环）。

（撰写：岳林康　审订：温鸿钧）

heranliao xunhuan feiwu

核燃料循环废物　waste from nuclear fuel cycle　来自核燃料循环系统的放射性废物，包括铀矿开采、铀矿石加工、铀的精制、铀的转化与浓集、核燃料元件制造、乏燃料后处理、放射性废物管理和核设施退役过程中产生的放射性废物。由于核燃料循环系统涵盖的范围很大，不同环节产生的废物的特性有很大的差别。例如，核燃料循环前段的加工对象是天然铀或浓缩铀，废物中主要含铀及其子体放射性核素，通常属于低水平放射性废物；核燃料循环后段主要包括乏燃料后处理及以后的各环节，它们所产生的废物中含有绝大部分裂变产物和少量超铀核素，前者主要是短寿命（半衰期≤30 a）的β和γ辐射体，后者主要是长寿命的α辐射体。根据不同来源，它们可能是高放废物、α废物、中放废物或低放废物。

（撰写：孙东辉　审订：王显德）

heranliao xunhuan houduan

核燃料循环后段　back-end of nuclear fuel cycle　核燃料从反应堆卸出后的处理和处置过程。对闭式燃料循环，其后段包括乏燃料的中间贮存、乏燃料的后处理、放射性废物的处理和最终处置等过程；对一次通过式燃料循环，其后段包括乏燃料的中间贮存、直接（或经切割后）包装、深地层最终处置。

（撰写：章泽甫　审订：朱永赌）

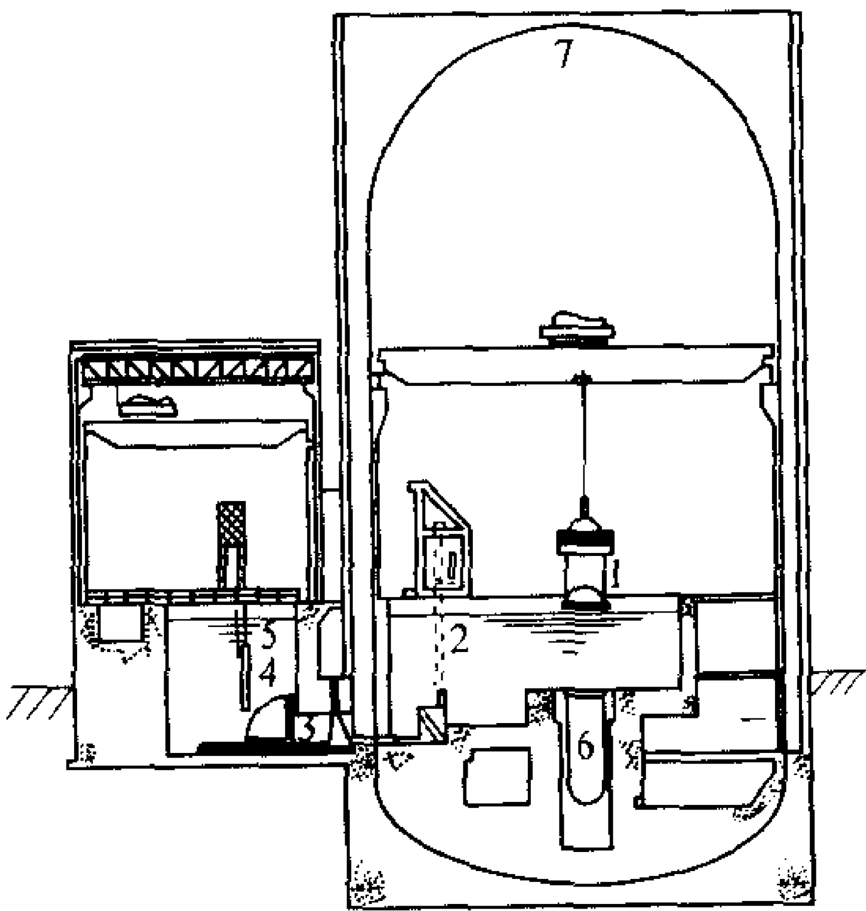
heranliao xunhuan qianduan

核燃料循环前段　front-end of nuclear fuel cycle　核燃料在核反应堆中使用前的工业过程。一般包括铀（钍）矿开采、矿石加工冶炼、铀同位素分离和核燃料组件加工制造。

（撰写：郑华铃　审订：袁良本）

heranliao zhuangxie yunshu he zhucun xitong

核燃料装卸运输和贮存系统　fuel handling and storage system　从新燃料组件进入反应堆厂房至乏燃料组件运出反应堆厂房的过程中所进行的燃料组件搬运、贮存、倒换、检验、修复等一系列操作所需装备的组合。新燃料的检查和贮存是在燃料厂房内的大气环境中进行；乏燃料的检查和贮存则在



燃料操作厂房布置图

1—起吊压力容器盖；2—装卸料机；3—运输管道；4—运输小车（翻转机）；5—装卸料桥吊；6—堆芯；7—安全壳

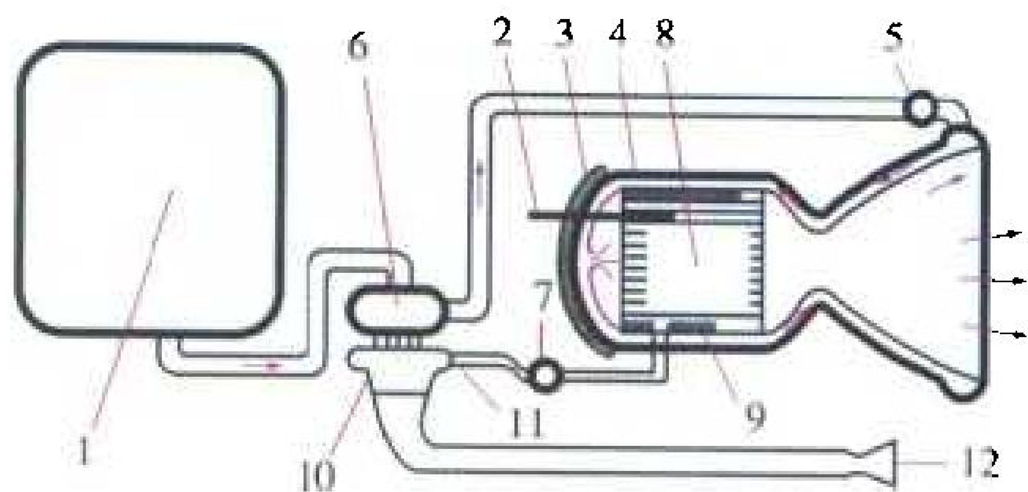
乏燃料水池中进行。反应堆装卸料在安全壳内和换料水池中进行。燃料厂房和安全壳之间设有水下运输通道（见图）。有些压水堆核电厂中将换料水池和乏燃料贮存水池都置于安全

壳内。燃料装卸系统主要包括装卸料机、水下运输通道、水下倾翻机、运输小车以及燃料组件破损检验装置。燃料运输系统主要包括燃料抓取机、燃料升降机、控制棒抽插机、燃料厂房吊车和吊运操作新、乏燃料的运输容器。燃料贮存系统主要包括新燃料组件贮存架、乏燃料组件贮存架、乏燃料组件贮存水池以及水池净化冷却系统。

（撰写：沈海达　审订：杜圣华）

herehuojian fadongji xitong

核热火箭发动机系统　nuclear thermal jet engine system　利用核能加热工质产生推力的火箭发动机系统。它的工作原理与化学火箭发动机系统相似，只是加热的能源不同。核热火箭发动机的比冲高，寿命长，但技术复杂，适用于长期工作的航天器。利用核裂变反应堆的核火箭发动机系统，工质一般为氢气，被反应堆加热后高速喷出，产生推力。反应堆



固体堆芯核热火箭发动机系统

1—工作介质贮箱；2—控制棒；3—屏蔽板；4—冷却套；5—阀门；6—泵；7—阀门；8—反应堆芯；9—中子反射层；10—涡轮；11—进气管；12—涡轮排气口

用固体燃料时，工质喷射速度可达到8～12 km/s。用液体和气体核燃料时可以提高工质温度，使工质喷射速度达到15～20 km/s。

（撰写：杨启法　审订：苏著亭）

herujiao

核乳胶　nuclear emulsion　能记录进入其中的单个带电粒子径迹的照相乳胶。与照相乳胶一样，核乳胶也是由银的卤素化合物微晶体均匀分散于明胶中而制成的。核乳胶特点是：微晶体极小（0.01～0.5 μm）；银盐含量高达80%；胶层厚达10～600 μm；对带电粒子灵敏度高，且可根据需要选用不同灵敏度的乳胶，从只对裂变碎片灵敏到对电子灵敏。由径迹的数量、参数（射程、颗粒密度、多次散射、δ射线密度、径迹黑度）、粒子的衰变或反应情况，可确定粒子的性质、能量与数量。对于中子探测，除了观测其与明胶中的氢核碰撞形成的反冲质子径迹以外，也可在乳胶中加入硼、锂等元素，观测中子引起的核反应。在核物理、宇宙线与粒子物理研究中，在放射性地质矿床研究，核试验中的快中子能谱测量，生命科学与材料科学中的自射线照相与电子显微镜自射线照相中，核乳胶有重要应用。由于核乳胶径迹测量是用显微镜作三维跟踪测量，全面自动化很难。目前还只能在某些特定条件下作自动化测量，这就限制了它的广泛应用。

（撰写：孙汉城　审订：刘惠长）

heshanguang humujing

核闪光护目镜　nuclear flash goggles　自动防止核爆炸光辐射对人眼损伤（闪光盲和视网膜烧伤）的装备（眼镜）。护目镜一般由镜片、镜架、控制器、电源四部分组成。护目镜的防护原理是当发生核闪光时，控制器的光电接收器在核闪光作用下产生起动信号，使镜片在数十至数百微秒内，由开启状态（透光率约10%～20%）到关闭状态，光密度变化4个量级，从而达到对眼睛的防护。护目镜主要用于指挥员、飞行员、核爆观测员等人员在核武器袭击时的防护。



我国FHMO2型自动核闪光护目镜

我国FHMO2型自动核闪光护目镜（见图），已于20世纪90年代装备部队。

（撰写：张宏濂　审订：毛用泽）

hesheshi

核设施　nuclear facility　常与核装置同义。在不同领域（如核安全、核保障等）中含义有所不同。在一个核设施包含多个核装置的情况下，核设施应包括其营运单位职责范围（厂区）内全部土地、辅助和公用设施等（参见**核装置**）。

（撰写：连培生）

hesheshi anquan

核设施安全　safety of nuclear installations　核设施达到适宜的运行状态，可预防核事故和缓解事故后果，从而保护人员、公众和环境免受不适当的辐射危害。

（撰写：董柏年　审订：潘自强）

hesheshi caozongyuan zhizhao

核设施操纵员执照　nuclear installation operator licence　由国家核安全监管机构颁发的允许担任操纵核设施控制系统工作的个人资格证书。“核设施操纵员执照”分为“操纵员执照”及“高级操纵员执照”两种。持“操纵员执照”的人方可以担任操纵核设施控制系统的工作，持“高级操纵员执照”的人方可担任操纵或者指导他人操纵核设施控制系统的工作。具备下列条件的人，方可批准发给“操纵员执照”：（1）身体健康，无职业禁忌症；（2）具有中专以上文化程度或同等学力（核动力厂操纵员则要求要有大专以上文化程度或同等学力）；（3）经过运行操作培训，并经考试合格。具备下列条件的人，方可批准发给“高级操纵员执照”：（1）具有大专以上文化程度或同等学力；（2）担任核设施操纵员两年以上且成绩优秀。核设施操纵员执照有效期为两年，欲延长其有效期者，必须办理换发新照的手续。离开本职工作六个月以上者，原有执照自行失效。

（撰写：张健　审订：任常平）

hesheshi chang chang zhi xuanze shencha yijianshu

核设施厂（场）址选择审查意见书　review comments on nuclear installation siting　国家核安全监管机构颁发的说明对拟建核设施所选厂（场）址的审查意见的书面文件。核设施选址定点前，须向国家核安全监管机构提交厂（场）址选择申请书并附可行性研究报告中有关厂（场）址安全内容的文件。这阶段国家核安全监管机构审查的目的是确定核设施与所选厂（场）址之间的适宜性。审查的重点是：（1）影响核设施设计基准的厂（场）址条件；（2）核设施和环境的相互影响；（3）采取应急措施的可行性。国家核安全监管机构颁发厂（场）址选择审查意见书，明确同意所选厂（场）址后，方可进行核设施建造前的场地准备工作。

（撰写：张健　审订：任常平）

hesheshi jianzao xukezheng

核设施建造许可证 construction permit of nuclear installation 由国家核安全监管机构颁发的允许申请者正式开工建设(核动力厂一般以浇灌核岛第一罐混凝土作为建造工作的开始)核设施的书面批准文件。为了申请核设施建造许可证，申请者需事先(我国核动力厂为开始建造前12个月)提交申请书及相应技术资料。对核动力厂来说，这些资料至少要包括可行性研究报告、初步设计批准书、环境影响报告批准书，初步安全分析报告、质量保证大纲等。这个阶段，国家核安全监督机构审查的重点是:(1)设计总原则和总体设计；(2)设计和厂(场)址的相容性；(3)工艺系统；(4)安全系统；(5)事故安全分析；(6)辐射防护、防火及安全保卫；(7)质量保证；(8)申请书及供货者的资格和组织；(9)初步试运行方案；(10)在役检查的考虑；(11)退役考虑。如国家核安全监督机构无特定限制，核设施建造许可证持有者可以完成核设施的建设直至完成装料前的冷热态试验。



颁发核设施建造许可证

(撰写：张　健　审订：任常平)

hesheshi sheji anquan yaoqiu

核设施设计安全要求 safety requirements for nuclear installation design 为达到安全目标，贯彻核安全技术原则，保证高度安全的核设施设计必须满足的要求。这些要求是国际上一致公认的，在核设施设计及运行经验积累过程中，总结完善并已反映在各国的核安全法规中。这些要求是:(1)应用纵深防御原则，使核设施系统具有多级保护和多重屏障，以防止放射性物质的释放，并且保证可能导致重大放射学后果的综合失效的发生概率极低。(2)在辐射防护上必须使厂区人员的辐射照射，以及释放到环境的放射性物质，达到合理可行尽量低的要求。(3)在核设施设计中必须系统地考虑并设置三种基本安全功能:安全停堆、排出余热和包容放射性物质。(4)为保证功能的高度可靠性，对于与质量有关的各个方面，必须予以极大的关注。(5)运行要求制定中，系统地考虑人机接口及人的因素。(6)必须进行系统的安全评价和独立验证，以证实核设施满足安全要求及安全目标。

(撰写：俞尔俊　审订：董柏年)

hesheshi shigu fenxi

核设施事故分析 accident analysis of nuclear installation 核设施事故分析是研究核设施可能发生的事故的种类及发生频率，确定事故发生后系统的响应及预计事故的进程，评价各种安全设施及安全屏障的有效性，研究各项因素及操纵员干预对事故进程的影响，估计事故情况下核设施的放射性释放量及计算工作人员与居民所受的辐射剂量。在核设施设计过程中，事故分析用于选取停堆保护信号，确定停堆参数整定值和停堆延迟时间，确定缓解事故的专设安全设施的参数。对于设计基准事件的分析是核设施安全分析报告中必要的一章。分析的目的在于表明该核设施设计足以控制这些事件的后果，使工作人员、公众和环境不致受到不适当的放射性风险。近年来，严重事故的分析已受到应有的重视。通过严重事故分析，可以找到核施设的薄弱环节，有助于提高核设施的安全性。严重事故分析，还可作为制定应急计划的依据。

核设施事故分析涉及到反应堆物理、热工、水力、控制、运行及剂量防护等各个方面，是评价核设施安全的一个结合点，有其特殊的重要意义。事故分析采用确定论及概率论两种方法。两种方法相辅相成。设计基准事件的分析，以确定论方法为主；严重事故的分析，两种方法并用，侧重于概率论方法。

(撰写：俞尔俊　审订：董柏年)

hesheshi shouci zhuangliao pizhunshu

核设施首次装料批准书 instrument of ratification for first fuel loading of nuclear installation 由国家核安全监管机构颁发的允许申请者往新建核设施首次装载核燃料的书面批准文件。为申请核设施首次装料批准书，申请者应事先(我国核电厂为预计装料之前12个月)向国家核安全监管机构提交申请书及相应资料。对核电厂来说，这些资料中至少应包括:(1)最终安全分析报告；(2)调试大纲；(3)在役检查大纲；(4)质量保证大纲。在预计装料前6个月需提交:(1)建造进展报告；(2)营运单位应急计划；(3)维修大纲。在预计装料前1个月需提交:(1)环境影响报告批准书；(2)操纵人员合格证明；(3)役前检查结果；(4)首次装料前调试报告；(5)拥有核材料许可证的证明；(6)运行规程清单。这一阶段国家核安全监管机构的审查重点是:(1)核设施各部分和各系统的最终设计及建成后的最终状态，质量保证大纲实施结果及役前检查结果，以确认核设施按认可的设计建成，达到质量要求并有完整合格的质量保证记录；(2)运行计划，包括运行工况、限值及运行质量保证计划、运行组织及人员资格；(3)调试大纲；(4)运行操作规程；(5)最终的事故分析；(6)辐射防护计划及事故应急计划等。国家核安全监管机构颁发核设施首次装料批准书后，即允许向核设施内装载核燃料，允许带核调试并按批准的计划提升功率(一般地，国家核安全监管机构会在达到额定功率前确定一些“监控点”，即在功率提升到“监控点”后，要维持运行一段时间，进行必要的检查或做一些特定的试验，符合要求后才允许进一步提升功率)，并进入试运行阶段。

(撰写：张　健　审订：任常平)

hesheshi tiaoshi

核设施调试 nuclear installation commissioning 核设施已安装的部件和系统投入运行并进行性能验证以确认是否符合设计要求，是否满足性能标准的过程。反应堆由调试装载燃料前和反应堆装料后并进入临界，链式裂变反应持续进行两种条件下的试验组成。周密计划和认真完成调试对收集核设施安全所需基础资料是极为重要的。因此，制定详细的试验大纲并在大纲中对其各部分的实施和报告责任作出明确规定。此外，还必须编写出一份包括所有重要试验结果的综合性试验报告，作为已圆满完成调试的记录并为随后的运行提供基础资料。调试大纲必须满足核设施营运单位的目标并获得国家核安全监管部门的认可。调试大纲的实施情况应分阶段进行审查。在完成对前阶段调试试验所得结果的评价和监查，并确认已实现了全部目标和满足了全部核安全管理要求之后才允许进行下一阶段的调试试验工作。只有在完成国家核安全监管部门认为必须的全部运行前试验，并且试验结果获得

核设施营运单位和国家核安全监管部门两者的认可后，才允许进行初始装料。同样只有完成上述认可后，才允许初始功率提升。
（撰写：王秀清　审订：俞尔俊）

hesheshi tuiyi pizhunshu

核设施退役批准书　instrument of ratification for nuclear installation decommissioning　由国家核安全监管机构颁发的允许核设施开始退役活动直至最终退役的书面批准文件。核设施退役批准书的申请者需于开始退役活动前（我国核电厂则明确规定为开始退役前两年）向国家核安全监管机构提交退役申请书并附送退役报告。申请书和退役报告的内容应包括申请单位、负责人姓名、职务、地址、核设施退役前的状况、待处理的放射性物质总量、处置方案及退役计划等。国家核安全监管机构审查的重点是：(1) 核设施运行结束时放射性物质的性质和数量；(2) 退役步骤和方法；(3) 退役各阶段的状态；(4) 退役各阶段的厂（场）区保卫和环境监测。国家核安全监管机构审查后先颁发退役批准书（临时），允许开始退役活动，然后再颁发退役批准书，批准最终退役。
（撰写：张　健　审订：任常平）

hesheshi xuanzhi anquan yaoqiu

核设施选址安全要求　safety requirements for nuclear installation siting　核设施选址必须考虑可能影响核电厂安全的，或被核电厂影响的有关特性，以及执行应急计划的可行性。所有特性都必须以核设施预期寿期来评价，必要时为保证其连续的安全可接受性，还必须进行再评价。影响核电厂安全的外部因素：对核设施安全可能造成不利影响的因素包括自然因素和人为危害。考虑的自然因素有地质特征、地震特征以及潜在的水文气象灾害等。人为危害包括邻近的化学设施引起的毒气释放或化学品爆炸，以及飞机撞击。要求对一些重要的外部事件进行调查给出他们的概率资料以及它们对核设施安全可能产生的影响，以确定对付外部事件的设计基准及需采取的安全设施。特别注意到极端外部事件的潜在威胁和设置的补救安全设施的可行性。对公众和环境的放射性影响：核设施在正常运行和事故情况下释放的放射性物质大致是通过空气、食物链和水源而进入人体的。对于厂址要研究可能影响这些途径的特征：即物理特征，如地形、气象和水文；环境特征，如动植物的类型；土地和水资源的使用情况；以及核电厂周围的人口分布情况等。应急计划的可行性：为了应付可能影响公众健康和环境的极不可能发生的事故，制定应急措施是必要的。这类应急措施的可行性可能会受到厂址特性及其周围各种特征的影响。
（撰写：俞尔俊　审订：董柏年）

hesheshi yingyun zuzhi

核设施营运组织　nuclear installation operating organization　又称核设施营运单位。申请或已持有相应核安全许可证件，可以建设、经营和运行核设施的组织。除全面负责核设施的建设、经营和运行活动外，从核安全管理的角度，核设施营运单位尚负有以下职责：(1) 遵守国家有关法律、法规和标准，保证核设施的安全；(2) 接受国家核安全监管机构的监督，及时、如实地报告安全情况，并提供有关资料；(3) 对所营运的核设施的安全、核材料的安全、工作人员和公众以及环境的安全承担全面责任。
（撰写：张　健　审订：任常平）

hesheshi yunxing

核设施运行　nuclear installation operation　为实现核设施的建造目的而进行的全部活动，包括维修、换料、在役检查及其他有关活动。核设施的安全运行是以核设施的选址、设计、建造、调试、运行和管理均符合核安全要求为前提的。核设施营运单位必须贯彻安全第一的原则，其组织机构必须适合核设施安全运行管理的特点。核设施运行管理者对核设施的安全运行负有直接责任，必须保证核设施以安全的方式运行，特别是要符合运行限值和条件（参见运行限值）。只有具备特定资格并经指派的运行人员，才能控制和指挥核设施的运行和状态。核设施营运单位必须在运行开始之前，制定出详细的书面运行规程，并且必须保证在核设施运行时运行人员认真遵循这些规程。核设施营运单位在运行开始之前必须制定出为安全运行所必须的构筑物、系统和部件的定期维修、试验、检验和检查大纲，并且必须保证在进行上述活动时有关人员认真执行有关规程。核设施营运单位必须负责并安排涉及反应堆堆芯和燃料管理的全部活动，保证燃料在反应堆内的安全使用以及其在厂区转移和储存期间的安全，核设施营运单位必须负责对核设施最终停止运行后安全退役（参见退役）提出处置办法。只有经国家核安全监管部门批准之后，核设施营运单位才能终止其责任。
（撰写：王秀清　审订：俞尔俊）

hesheshi yunxing jingyan fankui

核设施运行经验反馈　experience feedback of nuclear installation operation　系统地评价核设施运行经验和研究对安全重要异常事件或征兆、确认直接及根本原因，制定纠正措施，并将这些信息及时返回到核设施相关人员或供给同类其他核设施（或从同类其他核设施获得）的活动。必须认真研究运行经验，以便发现不利于安全的征兆，从而在出现严重情况之前制定纠正措施，防止事件重演。核设施营运单位必须设法获得并评价其他核设施的运行经验和教训，以作借鉴。为此，交流经验和参加国内和国际数据库极为重要。必须指定胜任人员系统地评价本系统和其他单位的运行经验。必须调查研究安全重要的异常事件，以确定其根本原因。必须根据调研结果向核设施管理者提出明确的建议。经验反馈必须及时向运行人员传达，并列入培训大纲。核设施运行管理者应与设计单位保持适当联系，以便向其反馈运行经验并获得与处理设备故障或异常事件有关的建议。从运行经验中获取的数据对于收集信息以提高剩余寿期评估和概率风险评价的准确度和可信度也极为重要。运行经验数据必须存档，并便于国家核安全监管部门查阅。
（撰写：王秀清　审订：俞尔俊）

hesheshi yunxing xukezheng

核设施运行许可证　operation licence of nuclear installation　是国家核安全监管机构颁发的允许核设施正式运行的书面批准文件。核设施调试达满功率并经 12 个月的试运行后，须向国家核安全监管机构提交运行许可证申请书及相应技术支持资料。对核电厂来说，这些资料至少要包括修订的最终安全分析报告、环境影响报告批准书、调试报告等。这个阶段国家核安全监管机构审查的重点是：(1) 试运行结果；(2) 修订的运行工况、限值及运行规程；(3) 定期试验、维修及在役检查方案；(4) 再培训计划；(5) 关于放射性物质向环境排放情况的报告。国家核安全监管机构颁发运行许可证后，即批准该

核设施正式运行，允许在遵守许可证规定的条件下长期运行。



颁发核设施运行许可证

（撰写：张 健　审订：任常平）

hesheshi yunxing yaoqiu

核设施运行要求　safety requirements for nuclear installation operation　核设施运行必须遵循运行规程、运行限值和条件。运行规程、限值和条件必须根据设计、安全分析和调试的结果来确定。在核设施运行寿期内必须保证有足够的合格人员和工程技术支援力量，必须执行报告制度和经验反馈。

（撰写：王秀清　审订：俞尔俊）

hesheshi zhuangtai fenlei

核设施状态分类　categorization of nuclear power states　核设施状态分为运行状态和事故状态两大类（见图）。运行状态又分为正常运行及预计运行事件；事故状态又分为事故工况（稀有事故与极限事故）及严重事故。核电厂状态按发生频率由高至低共分正常运行、预计运行事件、稀有事故、极限事故和严重事故五类。核设施设计中，必须遵循这样的原则，导致高辐射剂量或放射性大量释放的状态的发生频率要低，而发生频率较高的状态的辐射后果要小。核电厂状态分类的目的就在于对不同的状态规定不同的系统响应上的限制，即给以对应的可接受限值，从而使设计能满足核安全要求。

<table>
<tr><td colspan="5">核设施状态</td></tr>
<tr><td colspan="2">运行状态</td><td colspan="3">事故(事故状态)</td></tr>
<tr><td>正常运行</td><td>预计运行事件</td><td colspan="2">事故工况</td><td>严重事故</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td colspan="2">设计基准事故</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>稀有事故</td><td>极限事故</td><td></td></tr>
</table>

核设施状态图

正常运行：核电厂在规定运行限值和条件范围内的运行，包括停堆状态、功率运行、停堆过程、启动过程、维护、试验和换料。预计运行事件：或称中等频率事件，在核电厂的寿期内可能发生一次或多次。在发生这类事件情况下，当核电厂的运行参数达到规定限值时，保护系统应能关闭反应堆，但在进行了必须的校正动作后，反应堆可重新投入运行。稀有事故：这类事故对于单座核电厂来说，不大可能发生，从整体核电厂运行经验来说，有可能会发生。如果发生这类事故，允许堆芯有少量燃料元件受到损坏，需要依赖专设安全设施来缓解其后果。极限事故：极不可能发生的事故，其发生频率小于 10^{-4} 次 /(堆 · 年)。这类事故可能导致燃料元件有重大损伤，但不致引起限制其后果的系统丧失功能，反应堆冷却剂系统和反应堆厂房不会受到附加的损伤。严重事故：导致燃料元件严重损坏，堆芯融化、安全壳完整性可能受到破坏，放射性物质大量释放的事故。核电厂的这类事故预计发生频率受到国家核安全管理机构安全目标的限制。

（撰写：俞尔俊　审订：董柏年）

he shenshui zhadan

核深水炸弹　nuclear depth bomb　一种装有核战斗部的被投置到水下深水区进行爆炸的炸弹（见图）。这种炸弹主要是利用水下核爆炸产生的强烈冲击波摧毁敌方潜艇和其他水中目标。是战术反潜核武器的一种。核深水炸弹可由飞机、反潜直升机携带并投放，也可由舰载的反潜火箭投射。核战斗部威力一般为千吨至万吨TNT当量级，水下爆炸深度为几十米至几百米。威力过大或爆炸深度太浅，不利于摧毁水下目标，同时也会危及投弹的舰只。核深水炸弹需具有较厚的抗压外壳（以防水静压损坏弹头）和符合流体动力学的弹体尾部。在飞机高速投弹时，可利用连接尾锥外部的小型减速降落伞，在武器入水时与降落伞分离。作为反潜武器的引信系统，可采用水压引信、磁力引信和声压引信。核深水炸弹大多采用深水压力引信，在落到水中预定深度后爆炸。一枚10 ktTNT 的核深水炸弹在水下爆炸，可摧毁 1 km 以内的潜艇。美、苏曾在20世纪六七十年代生产和部署过几种型号的核深水炸弹，后来逐步被新的远程反潜核武器取代。



美国 MK90“贝蒂”核深水炸弹

图出处：Gibson J N. Nuclear Weapons of the United States. Schiffer Publishing Ltd. 1996.215

（撰写：竺家亨　审订：王连奎）

heshigu huo fushe yingji qingkuang yuanzhu gongyue

《核事故或辐射应急情况援助公约》　Convention on Assistance in Case of a Nuclear Accident or Radiological Emergency　简称《援助公约》，于 1987 年 2 月 26 日生效的公约。该公约规定了在核事故或辐射应急情况下，有关各缔约国（双边或多边），缔约国与国际原子能机构间的合作及提供援助的具体条款，以尽量减少事故后果，避免或减少放射性释放对生命、财产和环境的影响。每个收到援助请求的缔约国，必须立即直接或通过 IAEA 将其关于该请求的决定，以及可能提供援助的范围和条件通知请求国。IAEA 在该公约下的作用是，在其公约框架内竭尽全力促进、帮助和支持缔约国之间的合作。其职责包括：收集有关可利用的专家、设备和物资的信息以及与核事故或辐射应急情况响应有关的方法、技术和研究成果的信息；根据请求帮助制定应急计划和相应法规，以及建立培训和监测计划；提供用于事故或应急情况初步评价的适当资源；以及就这些事项同有关国际组织保持联络；根据请求，机构在国际一级协调所提供的援助。我国政府于 1987 年 4 月 16 日核准参加该公约。

（撰写：王 法　审订：施仲齐）

heshijian fenji

核事件分级　nuclear event scale　以统一的用语向公众快速

报道核设施安全问题严重程度的一种手段。通过将核事件正确定级，易使核技术界、新闻界和公众之间达到共同理解。国际核事件分级由国际原子能机构和联合国经济合作与发展组织核能机构联合召集的国际专家组制定。为了使我国民用核设施事件的定级和评定工作与国际核事件定级和评定工作接轨，我国已正式采用国际核事件分级准则。

国际核事件分级根据各个核事件的厂外影响、厂内影响和纵深防御能力削弱三个方面，把核事件分成七个等级。较低的级别（1～3级）称为事件；较高的级别（4～7级）称为事故；安全上无重要意义的事件定为低于1级或称0级。与安全无关的事件称为分级范围之外的事件。0级为偏离，安全上无重要意义。1级为异常，核电厂运行偏离超出规定的运行范围的异常情况。2级为事件，安全措施明显失效，但仍具有足够的纵深防御能力，仍能处理进一步发生的问题；厂内污染明显扩散，一个工作人员受过量照射。3级为重大事件，核电厂纵深防御措施受到严重损坏，厂内污染严重扩散，一个工作人员产生急性放射性效应；向厂外环境释放极少放射性物质，公众所受辐射剂量相当于规定限制的一小部分。实例如1989年西班牙范德略斯核电厂事件。4级为没有明显厂外风险的事故，核电厂反应堆堆芯及放射性屏障发生明显损坏；一个工作人员受到致死剂量；向厂外环境释放少量放射性物质，公众所受辐照剂量相当于规定限值量。实例如1980年法国圣济朗核电厂事故。5级为具有厂外风险的事故，核电厂反应堆堆芯及放射性屏障严重损坏；向厂外环境有限释放放射性物质(相当于10^{14}～10^{15}Bq ^{131}I当量)，可能要求部分执行计划的对策行动。实例如1979年美国三里岛核电厂事故。6级为重大事故，核电厂向厂外明显地释放放射性物质（相当于10^{15}～10^{16}Bq ^{131}I当量），可能需要全面执行计划的对策行动。实例如1957年苏联吉斯迪姆后处理装置（现属俄罗斯）事故。7级为特大事故，核电厂向厂外大量释放放射性物质（超过10^{16}Bq ^{131}I当量），造成大范围的健康和环境影响。实例如1986年苏联切尔诺贝利核电厂（现属乌克兰）事故。（撰写：俞尔俊　审订：董柏年）

heshili panxuan

核事例判选　nuclear event discrimination and selection　从大量粒子作用事例中，判别和选出所需研究的好事例。在在线判选系统中，事例判选常借助于快电子学逻辑选择电路、专用硬件选择器和程序方法等实现。在线判选系统对事例的判选是粗略的，它记录的除了好事例外还有部分背景事例。排斥比和事例获取效率是判选系统的两个性能参数，它取决于事例判选的判据以及探测器和电子学选择系统的设计结构。快电子学逻辑选择电路由纳秒级甄别器、符合线路和其他逻辑单元组成。它接受快时间响应探测器的信号，给出事例触发信号，控制计算机采集事例数据。它的特点是响应快，判选所需时间在纳秒级，能接受的输入信息量大。专用硬件选择器是专门为某种具体的探测器设计的，用于选择一定物理图像的作用事例。它的信号处理时间通常在微秒级，用来对通过快电子学逻辑选择电路的事例作进一步选择。程序方法是将收集的事例数据在计算机或微处理机群上分析，它处理一个事例的时间一般为毫秒级。实际运用中常结合使用上述三种方法。（撰写：倪建平　审订：席德明）

heshi

核势　nuclear potential　原子核内核子所受到的核内其他核子所产生的核势场，或入射粒子在反应或碰撞过程中所受到的靶核的核力势场。核内核子所感受的核势也称为单粒子势，它决定原子核的结构；入射粒子所感受到的靶核的核势决定核散射或核反应过程。某核子或粒子所感受的核势是由原子核其他核子对其作用的核子—核子势合成的结果。从核子—核子势出发，用核理论方法计算的核势称为微观核势，是个很复杂的核多体问题。通过符合实验数据来确定的核势称为唯象核势，唯象核势往往不惟一，伍兹—萨克森（Woods-Saxon）型唯象核势是最常用的。研究核结构的壳模型要用到实部势和自旋—轨道耦合势。研究核散射或核反应的光学模型包含实部势、虚部势和自旋—轨道耦合势，虚部势体现核的吸收，而自旋—轨道耦合势对研究极化核反应起重要作用。（撰写：申庆彪　审订：许谨诚）

heshiyan

核试验　nuclear test　为了军事或科学研究的目的，按预定计划进行的核装置爆炸试验。它是研究和发展核武器必不可少的手段，也是研究核武器作战使用和研究核爆炸的防护必不可少的手段。核试验是一项规模很大的国家科学试验，需要许多学科、许多部门协同配合，并耗费大量人力、物力。由于核武器的重要性和核试验的复杂性，核国家的政府都把核试验当作非常重要的有关国家安全的问题来处理。核试验会引起国际社会的重视，某些核试验需要由国家首脑亲自批准进行。我国第一次核试验的计划就曾经过中共中央政治局批准，并且这次试验是在周恩来总理亲自主持的专门委员会领导下进行的。自从美国1945年在内华达进行第一次核试验后，全世界已进行过2000多次试验，绝大部分是美国和前苏联进行的。根据不同的目的，核试验可以在大气层进行，也可以在地下、水面、水下、高空进行。20世纪80年代以后，各国的核试验都在地下进行。1996年9月，5个核国家签署了《全面禁止核试验条约》，不再进行核试验。但是印度和巴基斯坦在1998年却进行了多次核试验。为了进行核试验，需要建立有各种保障条件的核试验场。每次核试验要完成许多试验工程；准备大量诊断测量设备和高度可靠的控制系统；制定可靠的安全措施。在大气层核试验中往往还要安排大量的核爆炸效应测量。试验完成以后需要收集核爆炸样品，进行放射化学分析以获取重要的信息。（撰写：吕敏　审订：乔登江）

heshiyan baozhang jishu

核试验保障技术　technology ensuring nuclear test　为保障核试验顺利进行需要的有关技术。核试验的保障技术主要有：(1) 道路交通建设，包括核试验场与内地的交通联络和每次核试验爆心附近的道路建设；(2) 地质水文勘察，核试验场的地质水文勘察以及每次核试验爆炸点位置附近的地质条件和地下水的具体勘察和评价，以保证核爆炸时的安全和核爆炸后的放射性安全；(3) 气象预报和实测，为了减少核爆炸后放射性物质的沉降，必须选择适当的风向、风速，避开降水过程，在大气层核试验中气象条件要求特别严格，不但要考虑核试验场的气象条件还要兼顾下风方向广大地区的风向、风速；(4) 核试验场的水电保障，保证核试验需要用的充足和稳定的电力供应，以及质量合格的生活用水和工程用水。

（撰写：吕敏　审订：乔登江）

heshiyanchang

核试验场　nuclear test site　建有各种工程技术和保障设施，

H

用于核试验的固定场区。核国家都有自己固定的核试验场、在核试验场建设了各种工程技术设施，包括道路、供电、供水的设备，多次使用的试验核装置装配厂房、核试验的控制站、气象观测站、沾染洗消站等。在核试验场区中比较安全和方便的地区要建立参试人员的生活区和物资供应站，以及后勤保障区。为满足核试验的要求和核爆炸的安全，核试验场要经过仔细挑选。大气层核试验场要选择在地形开阔、人烟稀少的地区，如戈壁滩、海岛等。竖井地下核试验场区要选在岩石介质为硅酸盐、无大的断层、场区附近没有城镇的地区；平洞核试验场要选择在山体较宽厚的硅酸盐介质地区。为了居民安全，地下核试验场的地下水流方向应该没有居民点。核试验场要远离居民区，而核试验工作又需要有大量的人员、物资来往运送，因此核试验场的建设中交通条件是很重要的环节，往往要修建专用的公路，与铁路沟通，并修建机场，保证必要的空中交通。

（撰写：吕 敏 审订：周佩珍）

heshiyan de mudi

核试验的目的 purpose of nuclear test 核试验是紧紧围绕着核武器的研究、发展进行的，其目的可以分为：(1) 研究和改进核武器。凡是新型号的核武器必须经过核试验的检验，以确定核装置爆炸的威力，测量核装置爆炸过程的各种参数，为改进设计或定型生产提供依据。(2) 研究核爆炸的效应及其防护。通过观察核爆炸的宏观现象和测量各种毁伤效应的参数，考察各种武器装备抗核爆炸的能力和抗核爆措施的有效性，为核武器的使用及防护提供依据。大气层方式的核试验最适合于核爆效应研究。(3) 考察核武器的可靠性和安全性。检验核武器的库存可靠性的某些指标，某些反映核武器安全特性的指标也需要通过核试验来考察。(4) 研究核爆炸的探测技术。通过核试验研究核爆炸的探测技术，为核战争中探测核武器爆炸，为限制和禁止核试验条约的履约核查提供支持。(5) 研究和平利用核爆炸技术。为了探索和平利用核爆炸，进行独立的核试验。（撰写：吕 敏 审订：乔登江）

heshiyan de wuli zhenduan celiang

核试验的物理诊断测量 physical diagnostic measurement in nuclear tests 核试验中对核装置性能进行实时的物理方法诊断测量。为改进核武器的设计，需要对核装置爆炸中许多物理过程进行诊断，因此在核试验中安排了各种实时物理测量项目。需要诊断的内容包括：起爆压缩核材料的过程，裂变链式反应的增长过程，聚变的温度、持续时间、反应总数，压缩后聚变反应区的形状和大小等。在核试验中通过测量 γ 射线、高能中子，以及中子经过厚针孔所成的图像来达到这些诊断的目的。实时物理测量都是通过测量核爆炸产生的不带电的射线来实现的，常用闪烁探测器、半导体探测器、法拉第筒等。射线束流强度很高，必须记录瞬时电流波形信号。核爆炸的射线强度变化在纳秒量级，所有探测系统都要具有快速响应能力。核试验实时物理测量所用的是一类特殊的快速响应核探测和核电子学技术。记录系统要放到距爆心几百米以外，因此必须将探测器的快速信号进行远距离不失真传输，使用大量高性能的高频同轴电缆，并逐步采用光缆传输信号。核试验快信号的记录以单次记录示波器（见图）为主，20世纪90年代出现的多路高速采样记录示波器尤其适合于核试验的实时测量记录。核爆炸引起的干扰因素很多、强度很大；测试现场无人操作，依靠自动控制获取数据；而且核试验是一次性测量，不可能重复，因此核试验实时物理测量是一项难度高、规模大的科学技术。（撰写：吕 敏 审订：周佩珍）



布放在测试车中的示波器

heshiyan de zhenduan he celiang

核试验的诊断和测量 diagnostic and measurement in nuclear test 核试验中对核装置性能进行的诊断测量和对核爆炸效应的测量。核试验最直接的目的就是获取有关核爆炸的大量实测数据，包括爆炸威力和爆炸过程的数据，为改进核武器设计提供依据；核爆炸效应参数的数据及破坏效应的观察，为核武器的使用和防护提供依据。每次核试验的测量内容决定于核试验的具体目的，在大气层核试验中，除了对核装置性能进行诊断测量外，一般还要安排比较多的核爆炸效应参数测量和破坏效应观察。在地下核试验中主要进行核装置性能的诊断测量，在平洞方式核试验中往往同时进行辐射效应的测量。对核装置性能的诊断采用实时物理测量和爆后样品的放射化学分析测量两种手段。

（撰写：吕 敏 审订：周佩珍）

heshiyan fangshe huaxue zhenduan

核试验放射化学诊断 radiochemical diagnostic of nuclear test 通过定量分析核装料中主要同位素在爆炸前后的变化量及生成量来诊断裂变威力或聚变威力，它是一种非常重要的核试验诊断方法。诊断的主要内容包括：(1) 分析样品中的裂变产物如 ^{99}Mo, ^{95}Zr, ^{147}Nd, ^{144}Ce 和剩余核装料，计算装料中 ^{235}U, ^{238}U 或 ^{239}Pu 的裂变威力；(2) 分析核爆炸前后氢弹中氘化 ^{6}Li 的变量及剩余核装料测定 ^{6}Li 燃耗；(3) 分析气体裂变产物或气态聚变反应产物分别提供裂变燃耗或聚变燃耗；(4) 在核装料中特定部位放置活化指示剂，爆后测定指示剂活化率，定出中子注量；(5) 在弹外较近的距离上放置活化指示剂，测定它的活化率，推断出壳中子剂量。不同方式的核试验用不同的取样方法，各类样品经放射化学分离、纯化，制成待测源，用 α, β, γ 谱仪及同位素质谱计鉴定和测量。为确定样品的取样系数，可以采取下列方法：(1) 在核装置内放置特定的同位素（如 ^{238}Pu, ^{210}Po 等）；(2) 利用核装料中某些变化量不大的同位素（如 ^{239}Pu, ^{241}Am 等）；(3) 利用核材料铀、钚在爆炸前后质量守恒，推算剩余量；测量它们在样品中的含量，可以得到取样系数，取样系数的不确定度可以做到小于 1%。

（撰写：陈 达 审订：吕 敏）

heshiyan gongcheng jishu

核试验工程技术 engineering of nuclear test 为保障核试验顺利实施和确保核爆炸安全的工程技术。不同方式的核试验对工程要求不同：竖井地下核试验中主要的工程技术包括：(1) 钻井工程（见图），即在爆心投影点向下开凿几米直径、几百米深的竖井并对井筒进行必要的处理；(2) 测试钢架安装与吊装，将各种测量设备准确安装在钢架上并与核装置对接，整体吊装到井底，必要时做防水密封处理；(3) 回填堵塞，按照堵塞方案将砂石料回填井筒，在特定的深度设置水泥密封塞，以保证试验安全；(4) 钻探取样，爆炸后从地面钻孔，避



我国竖井核试验用的大钻机

开空腔碎石，取出玻璃体样品，供放射化学分析测量用。平洞地下核试验的工程技术与竖井相似，包括：坑道工程，按照核试验总体布局开挖廊道；在核装置就位以后将某些段落填实；防护墙和密闭门，防止放射性泄漏；钻探取样等。大气层核试验的工程技术包括：构筑不同抗压能力的测试工号；构筑各种研究爆炸效应的工事。对铁塔方式核试验需要建立安放核装置的塔架。

（撰写：吕 敏 审订：乔登江）

heshiyan jiance

核试验监测 monitoring of nuclear test 采用技术手段对核试验和核爆炸进行的监测，目的是证实是否发生了核试验或核爆炸，并对发生核试验或核爆炸的时间、地点及威力作出判断。为在全球范围内对核试验和核爆炸进行有效的监测，需要根据核试验和核爆炸发生时所处的不同状态采取多种不同的监测手段。1963 年美、英、苏签署的《部分禁止核试验条约》禁止在大气层、水下和高空进行核试验，但条约并未包含相应的核查条款。《全面禁止核试验条约》则包含较全面的核查规定，条约组织的筹委会正在建立一个由 321 个监测台站和 16 个专用实验室组成的全球性监测系统。该系统主要基于地震、次声、水声、放射性核素分析等技术，分别监测地下、大气层中和水下进行的核试验。此外，卫星遥感技术的不断进步已使人们能够有把握地监视和探测核试验的准备活动，并能够对核试验产生的地表形态的变化进行监测。因此卫星遥感技术无疑也将对核试验的监测发挥重要作用。

（撰写：段占元 审订：唐西生）

heshiyan lishi

核试验历史 history of nuclear tests 各国核试验的历程。1945 年美国进行了世界上第一次核试验，到 1998 年中，世界上一共进行了 2075 次核试验，其中美国和前苏联占绝大多数。在 2075 次核试验中，有 466 次是在大气层进行的。五个核国家开始都采用大气层核试验，并进行了大威力的氢弹

表 1 各国核试验历史

国 家	第一次核试验	第一次空投核试验	第一次大威力氢弹试验	第一次地下核试验
美 国	1945.7.16	1945.8.6	1954.2.28	1951.11.29
苏 联	1949.8.29	1951.10.18	1955.11.22	1961.10.11
英 国	1952.10.3	1956.10.11	1958.4.28	1962.3.1
法 国	1960.2.13	1966.7.19	1968.8.24	1961.11.7
中 国	1964.10.16	1965.5.14	1967.6.17	1969.9.23
印 度	1974.5.18			1974.5.18
巴基斯坦	1998.5.28			1998.5.28
南 非	1979.9.22			

表 2 各国核试验次数统计

国 家	核试验次数	爆炸装置总数	大气层核试验次数	地下核试验次数	高空核试验次数	水面、水下核试验次数
美 国	1056	1179	167	839	9	41
苏 联	715	969	209	496	5	5
英 国	45	45	20	24		1
法 国	210	210	45	165		
中 国	45		23	22		
印 度	3	6		3		
巴基斯坦	2	6		2		
南 非	1	1	1			

注：1.本表把一次核试验爆炸多个核装置都统计成一次，因此表中美国、苏联、印度、巴基斯坦的核试验次数少于爆炸装置总数。
2.英国和美国在内华达试验场共同进行了 24 次核试验。

试验。在掌握了基本的核爆炸毁伤效应规律以后，出于安全和有利于研究核武器物理过程的考虑，核国家为改进核武器需要进行的核试验都改到地下进行。1996 年 9 月，五个核国家在签署《全面禁止核试验条约》之后，停止了核试验。1998 年 5 月印度、巴基斯坦分别进行了核试验。1997 年南非政府官员透露，1979 年 9 月在印度洋上空曾秘密进行过一次核试验。世界上有关核试验的统计如表 1、表 2 所示。

（撰写：吕 敏 审订：乔登江）

heshuaibian

核衰变 nuclear decay 原子核自发地发生转变导致核的结构和内部能量发生改变的现象。核衰变的同时会发射出各种射线，这样的现象也称为放射性衰变。研究表明：中子过多的不稳定核素要发生 β^- 衰变；质子过多的不稳定核素要发生 β^+ 衰变或轨道电子俘获；处于高激发态的核素会发生 γ 衰变；重的不稳定核素常发生 α 衰变或自发裂变。此外，人们也已经观测到几种罕见的衰变模式：质子衰变，重离子放射性衰变，双 β^- 衰变，β 延迟质子发射，β 延迟中子发射等。原子核衰变使稳定核数目有了一个限制，实验上已发现的核素约有 2000 种，其中约 300 种是稳定的。原子核衰变的研究，可为人们提供原子核内部运动的重要信息，并产生许多重要的应用。

（撰写：陈金象 审订：卢希庭）

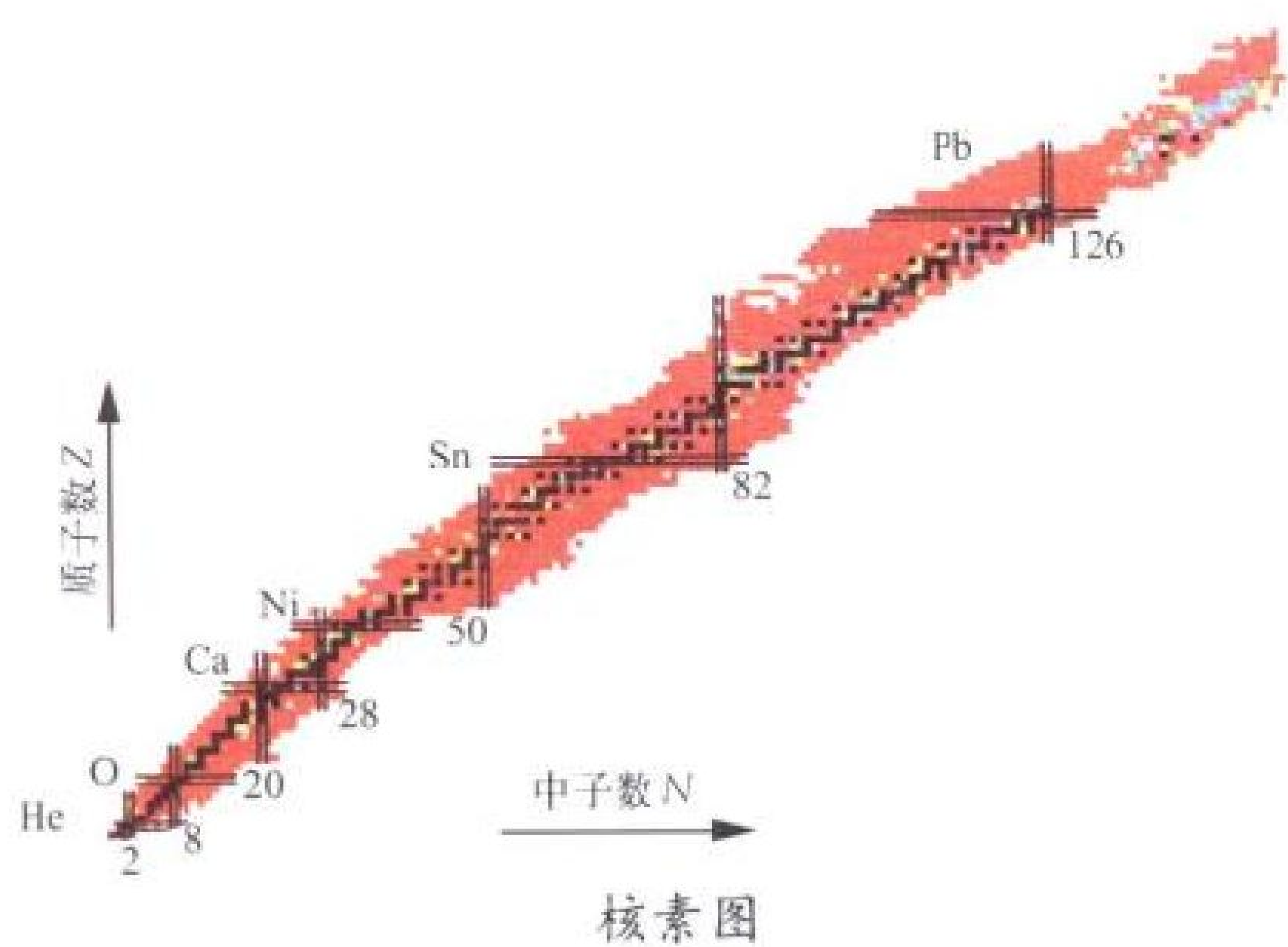
heshuaibian huaxue

核衰变化学 nuclear decay chemistry 见热原子化学。

hesu

核素 nuclide 具有特定原子序数（即质子数或核电荷数）、质量数（即核子数）和核能态，而且其平均寿命长到足以被观察到（一般长于 10^{-10} s）的一类原子。核素有时又称核类。核素通常用下列符号表示：${}^{A}_{Z}X_{N}$。其中 X 是元素符号，A 是质量数，Z 是质子数，N 是中子数，在实际工作中，往往只写出元素符号和质量数，略去了质子数和中子数。核素可以是稳定的，也可以是不稳定的。目前已经知道的核素大约有 2700 种，其中约 300 种是稳定的，其余是不稳定的，即放射性的。以原子核的中子数 N 为横坐标，质子数 Z 为纵坐标、在相应的位置画出已知的核素，得到核素图（见图）。图中深色部分为稳定核素。

由于核素的种类繁多，通常把它们分成 4 大类：同位素、同核异能素、同中子素和同量异位素。同位素是具有相同原子序数，但质量数不同的一类核素。同一种元素的同位素在



核素图

周期表中占同一位置，彼此的化学性质几乎相同。同核异能素是质量数和质子数均相同，而所处的能量状态不同的一类核素。表示同核异能素的方法是在核素符号右上角加写m，它表示这种核素的能量状态比较高。同中子素是具有相同中子数、不同质子数的一类核素。同中子素又称同中子异位素、同中子异荷素。同量异位素是质量数相同，质子数不同的一类核素。（撰写：华 辉　审订：卢希庭）

hesu qianyi

核素迁移　radionuclide migration　核素迁移系指放射性核素在环境介质的迁移行为和规律。在放射性废物处置领域，人们最关心的是废物库的长期安全性，即废物库中放射性废物所包含的放射性核素是否会在未来对人类及其生存环境构成危害。为了说明这一问题，需要对废物库进行性能评价，其中包括预测放射性核素在环境介质中的迁移行为。研究核素在环境介质中迁移的方法主要有实验室实验、现场实验和数学模拟三种方法。实验室实验通常采用柱方法，研究核素在实验柱中的迁移或弥散规律，给出相应实验条件下的有关参数。现场实验则是在未扰动环境介质中直接进行核素迁移实验。现场试验可以保留原有的环境氛围。而数学模拟则是用计算机模拟核素在环境介质的迁移。最后一种方法必须用前两种方法加以验证。（撰写：刘春立　审订：王志明）

he tongweixuan

核同位旋　nuclear isospin　原子核的一个内秉自由度，它具有与角动量相同的耦合性质。实验表明，核力近似地与电荷无关。在扣除电磁相互作用的影响后，质子与中子的性质很相似。为此引入同位旋量子数 T，把质子和中子的同位旋第三分量 T_3 定义为 1/2 和 −1/2，这样就可把质子和中子看作是核子在同位旋第三分量上量子数不同的两个状态。原子核总的同位旋，是组成它的所有核子的同位旋的矢量之和，而原子核的同位旋第三分量的取值就是 $T_3=\frac{1}{2}(Z-N)$，这里 Z 和 N 分别是原子核中质子和中子的数目。核子数相同，自旋和宇称相同，同位旋量子数也相同，而只有同位旋第三分量不同的各个原子核的状态，被称为原子核的同位旋多重态，它们在扣除库仑相互作用能量差和质子与中子的质量差之后，质量近似相等。（撰写：叶沿林　审订：卢希庭）

hetuji

核突击　nuclear strike　使用核武器对敌方实施的突然袭击。核武器通常仅用于具有决定意义的时机和敌方重要目标，因此一般核武器作战都仅以突击方式进行。核突击的组织实施方式，主要取决于核突击的目的、核火力计划、目标的性质与数量以及核武器的性能与数量等因素。按核作战任务的性质，核突击可分为战略核突击以及战役战术核突击；按使用的核武器及打击目标数量，可分为单个核突击、集群核突击和密集核突击。实施核突击，必须实行高度集中统一指挥，并与各军兵种的行动协调一致，密切配合。

（撰写：段占元　审订：唐西生）

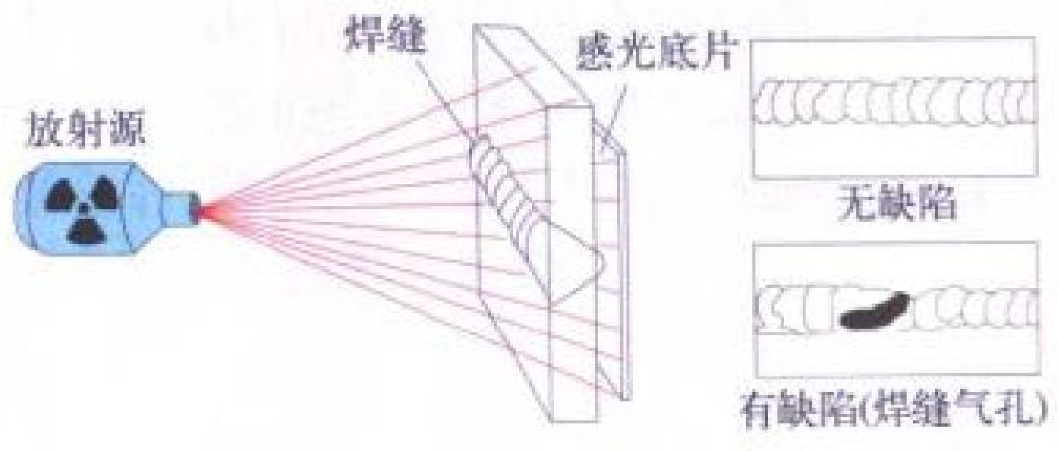
heweishe lilun

核威慑理论　theory of nuclear deterrence　阐述核威慑这种特殊政治行为方式的理论。威慑是以声势或威力相慑服，是国家或国家集团之间的特殊政治行为方式。进行威慑的一方通过威胁使用或实际使用军事力量，影响对方的战略判断，使其因得不偿失而放弃采取某些军事行动。以核武器为手段的威慑是核威慑。第二次世界大战后，随着核武器的出现和人们对其作用和影响的认识逐步加深，核威慑理论也经历了一个不断发展和完善的过程，在美国素有“思想库”之称的兰德公司，把核威慑理论的基本原理利用自然科学方法进行推导和验证，将其发展成为完整的理论体系，其中代表性的有大规模报复战略、灵活反应战略及相互确保摧毁战略等。

（撰写：段占元　修订：叶名兰　审订：唐西生）

he wusun jiance jishu

核无损检测技术　nuclear nondestructive testing technology　一类利用核技术对材料和物体的内部结构和缺陷进行非破坏性检查的技术。核无损检测技术的内容主要包括射线无损检测、工业 CT、数字辐射（DR）检测技术、核磁共振技术和穆斯堡尔效应等。目前这些核无损检测技术常与电子计算机相结合，实现数字辐射成像获得直观影像，例如 CT 技术的断层图像及 DR 检测技术的二维投影图像。核无损检测技术目前主要用于检查工业零部件的内部结构和缺陷，评价被检物的性能和使用价值等，如用于压力容器焊缝检查（见图）、发动机涡轮叶片制造和螺旋桨加工评价等。



焊缝缺陷射线无损检测

（撰写：貊大卫　审订：吕延晓）

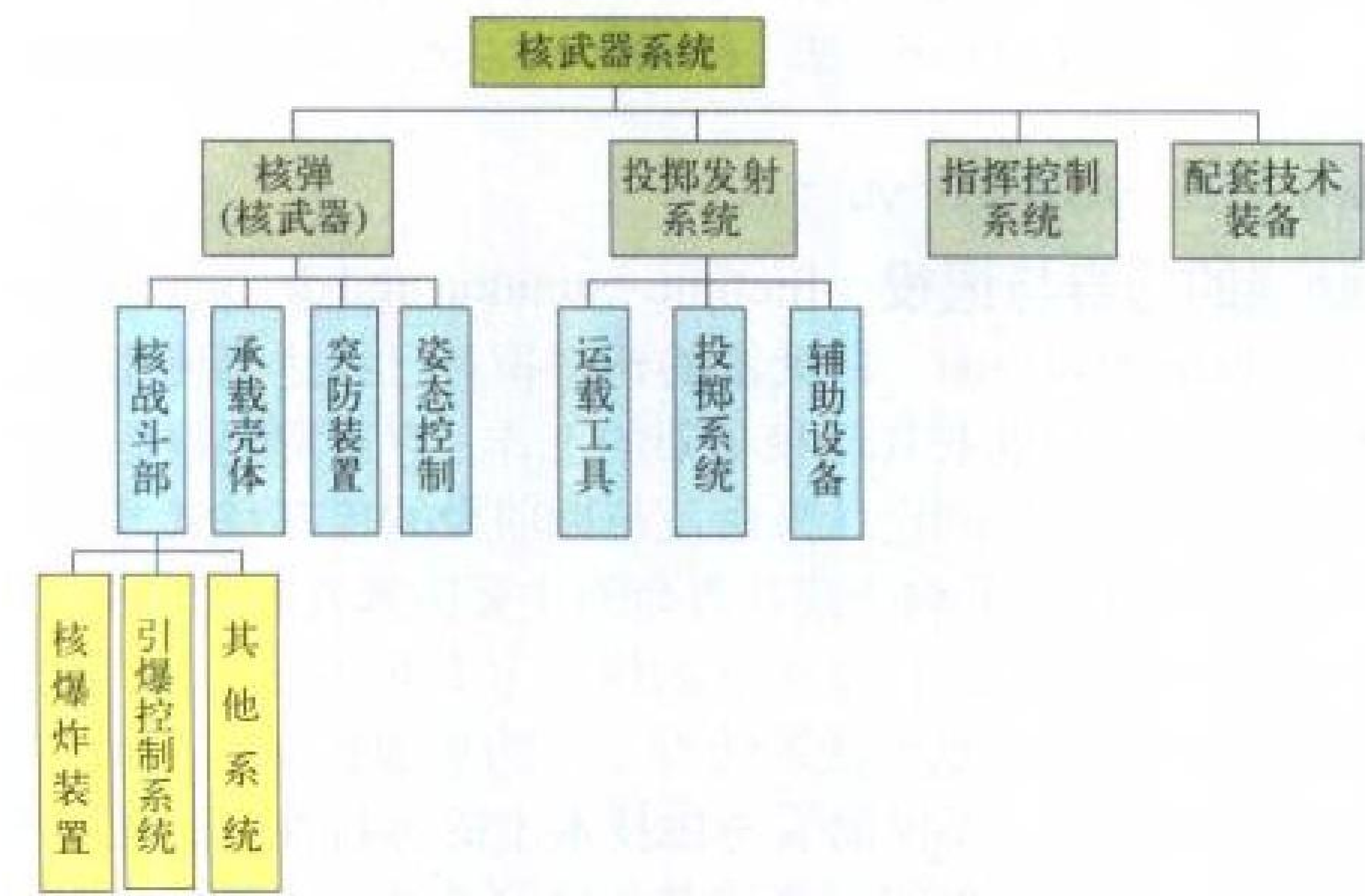
hewuqi

核武器　nuclear weapon　爆炸能量来自原子核的裂变反应或裂变—聚变反应的武器的统称。当重原子核（例如 ^{235}U 或 ^{239}Pu）分裂成两个中等质量数的原子核或轻原子核（例如氘核、氚核）聚合成较重的原子核时都会放出大量核能。利用重原子核链式裂变反应原理制成的核武器叫裂变武器，通常称为原子弹。原子弹利用炸药爆炸使原来处于次临界状态的裂变材料达到超临界状态，由核点火部件适时提供中子，触发链式裂变反应，在瞬间释放出巨大能量，形成核爆炸。使裂变材料从次临界态过渡到超临界态的方法有两种，一种通过增大裂变材料体积的办法使裂变系统达到超临界的叫“枪法”，另

一种通过增大裂变材料密度的办法使裂变系统达到超临界的叫“内爆法”。枪法原子弹又称压拢型原子弹，内爆法原子弹又称压紧型原子弹。利用氘、氚等轻原子核热核聚变反应制成的核武器叫热核武器或聚变武器，通常称氢弹。大量轻原子核进行自持热核燃烧的条件是高温、高密度，在地球上这样的条件只有靠原子弹爆炸来创造。这种专门设计的裂变爆炸部分称为氢弹的初级，含聚变燃料的氢弹的主要放能部分称为氢弹的次级。裂变武器的威力受到临界质量的限制，氢弹的威力原则上没有限制。由于聚变反应产物中放射性核素比裂变产物少得多，氢弹可以设计得比较“干净”。通过改变氢弹次级的设计增强或削弱其某种杀伤破坏因素，可以制成特殊性能的核武器（如中子弹，弱剩余放射性弹等）。与远程投射工具相结合的小型化氢弹是构成核威慑力量的主体。现有的各种核武器（原子弹、氢弹和特殊性能核武器），就其物理原理来说，都是以原子核的裂变和聚变反应为基础的。曾经见诸报道的第三代核武器，即核爆炸驱动定向能武器（如核爆激励X / γ 射线激光器，核爆激励高功率微波武器）则以核爆炸释放的某种形式的能量作为驱动源，通过转换器，转换成某种定向能。第三代核武器是核武器分别与高功率激光器、高功率微波发生器相结合的产物。

核武器一般由核战斗部及其承载壳体组成（弹道核导弹的弹头中有的还包括姿态控制、突防装置等），随着投射工具的不同分别叫做［弹道导弹］核弹头，核炸弹，核巡航导弹，核炮弹，核深水炸弹，核鱼雷，核地雷（无投射工具）等，统称核弹。核武器（核弹）与投射系统、指挥控制系统和配套技术装备一起组成核武器系统（见图）。核战斗部由核爆炸装置，引爆控制系统和其他系统组成。

核武器爆炸释放的能量比炸药爆炸要大得多。^{235}U 或 ^{239}Pu 原子核每次裂变瞬时释放的可利用能量大约为 180 MeV，因此可算出 1 kg ^{235}U 核完全裂变放出的能量高达 17.6 ktTNT。核武器释放的能量习惯于用爆炸时释放相同能量的 TNT 炸药的质量来计量，称 TNT 当量，并以“吨 TNT 当量”作为计量单位。可见，1 kg ^{235}U 核完全裂变放出的能量是 1 kgTNT 炸药爆炸能量的 1.76×10^7 倍。同样可以算出，1 kg ^{6}LiD 完全反应释放的核能为 64 ktTNT。核武器在爆炸瞬间释放的巨大能量、核辐射（主要是中子和 γ 射线）、大量放射性产物和未反应的核材料等形成了核爆炸的冲击波、光辐射、早期核辐射、放射性沾染和核电磁脉冲五种主要杀伤破坏因素，使它成为具有大规模杀伤破坏作用的武器。



核武器系统组成

（撰写：郑绍唐　审订：俞大光）

hewuqi anquan heshiyan

核武器安全核试验　safety test of nuclear weapon　为检验核武器安全性能而进行的核试验。为防止核武器事故，各核国家在设计核武器时都考虑了一系列安全措施。其中有些措施如“一点安全”设计，采用钝感炸药和耐火弹芯等（参见核武器安全性），都与核战斗部的性能有关，需要通过核试验来检验设计的正确性。

“一点安全”设计要求核装置具有如下固有特性：在炸药任一点上引发爆轰，产生一定量值以上的核爆炸能量的概率极低（如美国标准是发生 4 lb TNT 当量以上核爆炸能量的概率为百万分之一）。“一点安全—核试验”与其他核试验相比，主要特点是：事先选取最不安全的点，并在此点引爆炸药；试验时要用很强的中子源进行裂变点火；主要测量链式裂变反应动力学过程。一种新型核装置，为检验并改进设计使其达到“一点安全”标准，需进行多次核试验。

采用钝感炸药和耐火弹芯是核武器的一种新设计。它是否达到安全指标，可通过非核试验作出判断，但需经核试验检验设计是否正确，能否达到预定的战术技术性能指标。从这种意义上看，这类核试验应属改进武器设计的试验。但其根本目的是改进武器安全性能，国标上有时视其为安全核试验。采用钝感炸药和耐火弹芯的设计，一般需要几次核试验才能完成。美国研制和库存中的38种核武器，采用钝感炸药和耐火弹芯的有 5 种；只用钝感炸药的有 16 种。美国计划加速老式核武器退役，留下11种核武器，8种采用钝感炸药，其中 2 种核武器（B83 战略核炸弹和“和平卫士”洲际导弹的核战斗部 W87）同时采用钝感炸药和耐火弹芯，其核武器的安全性能将大为提高。

核武器安全核试验可以是一次核试验的重要目的，但也可以是试验的多种目的之一。

（撰写：朱建士　审订：刘恭梁）

hewuqi anquanxing

核武器安全性　nuclear weapon safety　核武器在正常的维护使用中，防止因操作失误、设备或武器故障等原因发生意外的、涉及人身和场地设备安全的事故的能力。核武器中通常装有多级保险，需要遇到特定环境（例如核弹头在导弹运载起飞和再入大气层的环境）才能逐一解除。核装置的设计应使裂变材料平时处于深度次临界状态并尽可能符合一点安全要求以防止意外核事故。为保证核武器在装配、贮存、运输、检测、维修和对接等地面勤务过程中的安全，核武器还带有勤务保险装置，仅当这些勤务操作已全部完成后才人工地予以解除。（撰写：俞大光　审订：郑绍唐）

hewuqi baoanxing

核武器保安性　nuclear weapon security　核武器能抵制任何非授权的使用和在异常环境或被袭击情况下保证安全的能力。在核武器中通常配置密码锁，不经国家首脑授与密码无法开启使用。为了防止在抢劫、袭击、纵火等环境下发生核事故，核装置可采用钝感炸药和耐火弹芯结构，这种武器在遭遇袭击时只能被破坏而不致造成安全事故。保安性也可以归并到安全性一起，因它们的性质基本相同。

（撰写：俞大光　审订：郑绍唐）

hewuqi baoxian zhuangzhi

核武器保险装置　safety device of nuclear weapon　核武器

引爆控制系统中防止误发引爆和控制信号的装置。常用的保险装置有以下六类：(1) 保险开关或保险栓，它们是利用导弹头体分离或飞机投弹时的机械力来闭合触点以接通电路的；(2) 气压或水压保险器，前者适用于在大气层飞行时气压变化，后者则适用于钻入水下而致水压剧增作为敏感的信息而解脱的保险器；(3) 惯性或加速度保险器，利用弹道加速度使惯性质量块产生位移而接通或阻断电路的装置；(4) 延时开关，有钟表式和电子式延时装置均可用作保险；(5) 密码锁，必须输入特定的数字密码才能开启的电路锁，这是为了保安、为了阻止非授权使用核武器而增设的保险装置；(6) 一次激活电池的激活回路亦可作为有效的保险装置（参见引爆控制系统）。

（撰写：俞大光　审订：王铁铮）

hewuqi baozha fangshi

核武器爆炸方式　types of nuclear explosion　按照发生核爆炸时核武器所处的介质和高度（或深度）的不同而划分的爆炸类型。可分为空中、地（水）面、地（水）下爆炸等几种（见图）。在核爆炸威力相同的情况下，核爆炸方式的不同，核武器的各种杀伤破坏因素对目标的杀伤破坏效果也大不一样。究竟采用何种爆炸方式，取决于使用的目的和目标的性质。空中核爆炸是指爆高大于火球最大半径的核爆炸，其冲击波和光辐射的杀伤破坏范围较广，早期核辐射的作用较强，但放射性沾染一般较轻，持续时间短。通常爆高在 30 km 以上的空中核爆炸又称为高空或超高空核爆炸，其主要杀伤破坏因素是 X 射线、早期核辐射和电磁脉冲。地（水）面核爆炸是指火球接触地（水）面的核爆炸，其冲击波和光辐射比较集中，能造成强烈的地震，对坚固的地下和地面目标，如地下指挥所、导弹发射阵地、地面船坞、地下铁道、地下（水下）电缆等破坏效果较好。在地（水）面下一定深度进行的核爆炸称为地（水）下核爆炸。地下核爆炸分为浅地下和深地下核爆炸，浅地下核爆炸能造成大的弹坑和严重的放射性沾染，主要用于破坏地下坚固设施或堵塞关卡、隘路，以及阻碍部队的行动；深地下核爆炸目前只用于科学研究与和平利用。水下核爆炸主要用于破坏水面舰只和水下的潜艇、水上建筑、水下障碍物和水下设施，并能在一定范围的水域造成严重的放射性沾染。



图 1　原子弹空爆形成的蘑菇云



图 2　地面核爆炸形成的火球

（撰写：段占元　修订：叶名兰　审订：唐西生）

hewuqi chengxu kongzhi zhuangzhi

核武器程序控制装置　programmer of nuclear weapon　用以控制核武器从投射到起爆整个程序的装置。核武器投射前的程序用地面、机上或舰艇上装备的控制台操作和控制。控制台的操作将一些必要的数据（例如某些引信与装定爆高有关的参数）装入程序控制装置。武器投射以后除继续接收相关系统发来的信息外，程序控制装置即对引控系统的工作程序进行控制，并向武器内其他系统适时发出指令控制信号。程序控制装置一般由执行继电器、延时机构或微型计算机组成。

（撰写：俞大光　审订：王铁铮）

hewuqi chufa yinxin

核武器触发引信　contact fuze of nuclear weapon　又称核武器碰撞引信。依靠核武器触及目标或地面（水面）时感受的惯性力或反作用力而给出引爆信号的装置。引信中的质量块在核武器与目标相撞时受到的惯性力指向目标，而武器与目标相撞也受到目标反作用于武器并传递到引信的力则与前者方向相反。不论哪种力都足以使原来断开的接点闭合而给出接点断通的信号。但核武器触及目标后，其中的核装置也将因撞击而变形终至解体，因而必须赶在变形之前完成核武器的引爆和核点火。从引爆到核点火又必须经历一段时间，一般数十微秒，称总作用时间。所以触发引信从触及目标到发出引爆信号的时间（称瞬发度）应尽可能短。依靠类似继电器接点需通过机械运动才能发信号的触发引信，其瞬发度难以做得很短，因此常利用压电晶体（陶瓷）材料将压力转变为电压（压电效应）再经放大输出作为引爆信号。这种引信结构中没有机械运动部件，因而瞬发度短得多。

（撰写：俞大光　审订：王铁铮）

hewuqi de fanghu

核武器的防护　protection of nuclear weapon　防止核武器遭敌袭击或破坏的防护措施。其目的是尽可能避免或减轻核袭击或其他破坏方式对核武器的损害。核武器在战时和平时都应有严密的防护措施。战时要充分利用战略侦察和导弹预警系统，及时掌握敌方战略核突击的动态，并对敌来袭的战略和非战略武器进行有效拦截；利用有利地形，严密伪装，提高抗作战部队的隐蔽性；将核武器分散部署在多个发射阵地，实施机动和佯动作战；在核袭击发生的情况下，及时组织人员抢修、复测核武器系统，消除核袭击后果，并迅速恢复反击作战能力。平时，在核武器的生产、运输、贮存、保养等过程中，都要有严格的保护措施。随着战略核武器命中精度和打击硬目标能力的不断提高，核武器防护的重点是建造具有更高抗压强度的导弹发射井和指挥控制中心，采取机动和快速发射方式，以及发展核武器系统的防御体系等。

（撰写：叶里　修订：段占元　审订：唐西生）

hewuqi de yanshou yu tuiyi

核武器的延寿与退役　lifetime extention and decommissioning of nuclear weapon　核武器的延寿指对已经达到使用寿命的核武器进行的延长其服役年限的工作。它通常要根据核武器系统各零部组件的设计寿命及超期服役的库存核武器的实际变化情况，找出影响核武器寿命的主要因素及其延寿潜力，提出恢复各零部组件技术性能的修理方案并加以实施。安全可靠性研究的成果是核武器延寿工作的基础和依据。对库存核武器进行延寿，不仅需要考虑技术上的可行性，而且还要考虑延寿工作所产生的军事效益和经济效益。核武器的退役是指作为武器装备的核武器退出服役，不再继续作为军事装备的活动。它通常是在核武器的延寿失去军事和经济效益，或出于其他原因而采取的步骤。



俄罗斯工人正在拆除退役的核潜艇

（撰写：段占元　修订：叶名兰　审订：唐西生）

hewuqi dimian cekong shebei

核武器地面测控设备　equipment for ground test and monitoring of nuclear weapon　对核武器电子系统进行地面检测、控制和监视状态的各种专用设备的总称。可分为地面联试设备、地面监控设备和地面单检设备三项。地面联试设备主要用于引控系统联试，但亦可兼顾部分单检项目。地面监控设备是用于对核战斗部上电子系统进行参数装定、静态检测和解除勤务保险等的专用设备。这里“地面”是指不在弹上，并不一定就在室内或场坪上，例如装在核载机上的“机上控制台”和装在潜艇上的核导弹“头部检测台”都属于地面监控设备。地面单检设备是用以对核武器引控系统各装置进行单独检查测试的专用设备，例如有“同步装置测试仪”。这些地面测控设备交付给部队时均应配详细的操作使用说明书。另外，为了部队进行操作培训和地面联试设备的自检，还可向部队提供引控系统仿真器，此件可输出引控系统程序动作信号和各项参数。　（撰写：俞大光　审订：王铁铮）

hewuqi fanghu

核武器防护　nuclear weapon defence　对核武器袭击所采取的防护措施，包括核情报搜集与侦察、武器装备与设施的核加固、核监测、个人（含医学）与集体（工事）防护、对放射性沾染地域进行回（规）避、放射性沾染清除等技术措施。是核条件下军队作战指挥与防护的重要内容，目的是尽可能避免或降低核武器袭击所造成的毁伤后果。具体措施有：(1) 加强敌情收集与侦察，重点查明敌方核武器的类型（包括核弹头与发射手段）和部署、使用企图和征候，及时通报；建立以固定或机动的核观测哨为骨干的核爆监测体系以便及时判明敌方核武器袭击与我方毁伤的情况。(2) 制定多种快速应变的行动预案和防护保障计划，采取核条件下的作战指挥、战斗编组和行动方法。部队的配置、机动、工事构筑和物资贮存等，要充分利用有利地形，严密伪装，尽可能减少遭袭机会。指挥所、通信枢纽、重要方向的防御支撑点和部队集结地域，要用一切时机构筑工事，增强工事的防护性能，避免或减少遭袭危害，提高其生存能力。武器装备、军事设施，特别是电子、信息设备要采取抗核电磁脉冲为主的核加固措施，确保战场感知、指挥与控制以及通信网络畅通。及时保障个人防护器材，组织防护训练，使每个战斗人员熟练掌握防护器材的使用和核爆瞬时人员的防护动作。(3) 组织核爆后的放射性沾染预测、辐射侦察与辐射监测以查明作战地域的地面放射性沾染（γ 辐射周围吸收剂量率）分布情况，部队行动应尽力绕过放射性沾染区，预计、监测并控制部队必须在沾染区行动时外照射的通过剂量与停留剂量，统计部队的辐照剂量与辐照史，评估与正确使用战斗力（生动力量）；组织对撤离沾染区人员、武器装备等的放射性沾染检查，以确定是否需要洗消，对受染人员、武器装备、道路等及时组织进行局部或全面洗消和清除（隔离稳定等）；处于或进入放射性沾染区前应及时组织部队指战员服用适当的抗电离辐射药物；及时穿戴个人防护器材并尽可能不在沾染区内饮水与进食等以防止内照射。　（撰写：毛用泽）

hewuqi fenlei

核武器分类　classification of nuclear weapon　从不同角度对核武器种类的划分。按核装置的设计原理和结构分，核武器有裂变武器（原子弹）和热核武器（氢弹）两大类。热核武器又可分为三相弹，特殊性能核武器和核爆驱动定向能武器。按设计技术的发展分，有第一代核武器（包括原子弹和早期氢弹），第二代核武器（包括小型化氢弹和特殊性能核武器）和第三代核武器（指核爆驱动定向能武器）。按投射系统分，有核导弹、核炸弹、核炮弹、核深水炸弹、核鱼雷等。核地雷一般根据作战需要事先布放，不需要投射系统。从作战使用所起的作用分又有战略核武器和战术核武器，也可分为进攻性核武器和防御性核武器。按威力大小划分又有高威力（1MtTNT 级）、中等威力（数十万吨 TNT 级）和低威力（10 ktTNT级及以下）核武器之分，但这种划分的界线并不十分严格。　（撰写：郑绍唐　审订：俞大光）

H

hewuqi gaizao

核武器改造　improvement of nuclear weapon　针对某些核武器原有作战使用性能不适应作战需求的情况，以技术改造的方式，使其满足作战需要的过程。随着世界战略形势的变化和军事技术的发展，核武器改造也成为一种发展策略。例如 1994 年，针对打击深层地下目标的需要，美国提出将原有的 B61–7 核炸弹改造为具有极强钻地能力的核炸弹 B61–11 的计划，到 1997 年，美国经过 3 年时间，投资 3300 万美元，全部完成了改造计划。

（撰写：段占元　审订：唐西生）

hewuqi gongcheng sheji

核武器工程设计　engineering design of nuclear weapon　核武器在物理设计已经完成、研制方案亦已确定之后，转入工程研制阶段所进行的各项设计。具体内容有：(1) 承载壳体的设计，包括适合飞行的气动外形设计、防热防辐射设计等以及弹道计算；(2) 飞行控制和制导系统的设计（视需要进行）；(3) 核装置爆轰序列的设计，应能通过试验证明满足核装置物理设计要求；(4) 核装置工程设计，按照物理设计要求在工程上予以实现，确需对物理设计作出适应性修改时仍需经物理方面的审定，最后形成满足武器要求的核装置设计；(5) 核战斗部各电子系统的设计，主要是引爆控制系统的设计，既要满足可靠性要求又要充分注意到安全和保安的需要；其他电子系统如外中子源系统等根据核装置的需要而定；(6) 总体布局和结构设计、力学强度计算和试验考核；(7) 专用地面设备的设计，包括总装工艺和技术装备、专检工具和设备、各电子系统所需的专用地面测控设备等的设计。以上各项设计均应通过总体设计中规定的有关分系统匹配试验和环境模拟试验，并对可靠性进行合理的评估，对全武器的安全性和保安性作出据实评定，以鉴定是否满足研制任务书中的各项要求。

（撰写：俞大光　审订：郑绍唐）

hewuqi guanxing yinxin

核武器惯性引信 inertia fuze of nuclear weapon 利用核武器在飞行中承受的惯性力作为敏感信息而制成的引信。核炸弹从投掷起即因受重力作用产生加速度，又因大气阻力加速度逐渐变小。核弹头再入后因与大气剧烈摩擦而减速，存在一个由小变大又由大变小的负值加速度。这些导致武器飞行中其内部物体都承受着随时间变化的惯性力。敏感惯性力的装置原理结构很简单，只需一个由弹簧牵制的质量块带动一个滑线变阻器即可，因此可以做得很小。为了提高精度，可用力平衡式结构。即在质量块受到惯性力的同时，反馈给出一个电磁力去补偿使达到力的平衡。此赖以产生电磁力的电流就是与惯性力成正比的单值函数。为了提高引信装定爆高的精度，希望选择弹道上加速度时变率最大的点，但此点通常非所希望的爆点。因此还必须带上一个延时机构，组成惯性延时引信。由于飞行弹道随气象的变化而变化，按照一个固定的弹道装定的爆高常常误差很大。为此可通过实测各时刻加速度值输入到弹上计算机演算处理后来自动调整延时值作出补偿，这称为变延时惯性引信。还有一种方法是利用加速度的二次积分而获得程长，从能够获得较准确飞行参数且离爆点较近的点开始计算，确定到达装定爆高的时刻，即可避免因气象影响弹道而带来的误差。这种惯性引信称为路程长度引信。惯性引信因结构简单、可靠性高且只利用弹道信息无被干扰之虞而受到重视。 （撰写：俞大光　审订：王铁铮）

hewuqi guojia

核武器国家 nuclear weapon state (NWS) 在1967年1月1日前制造并爆炸过核武器或其他核爆炸装置的国家。核武器国家有美国、苏联（俄罗斯）、英国、法国和中国。

（撰写：金惠民　审订：严叔衡）

hewuqi huanjing moni shiyan

核武器环境模拟试验 environmental simulation test of nuclear weapon 人工模拟核武器在服役期间可能遭遇到的各种环境而进行的核武器整体或局部的研究或考核试验。由于核武器的巨大威力除根据需要进行少量核试验外，一般应避免进行实弹投射试验。这一方面是从安全和经济考虑，另一方面也由于实弹试验并不能遇上服役使用中可能遇到的极端环境而致考核不够充分。因此环境模拟试验不仅为了研究各种环境对核武器各分系统和部件（装置）的影响机理，同时也是定型考核的必需项目。环境模拟试验的项目可分为两类，一类是飞行模拟，例如对远程或洲际核导弹弹头可进行低弹道近距离飞行，以近似模拟全程的力学和热学环境；对核炸弹的考核可以用模拟力学性能的材料代替核材料进行无核爆的飞行模拟试验。另一类是地面环境模拟试验，可以分别模拟武器服役使用期的某一项环境，例如为考核强度的静力试验、为考核机械共振的振动试验、为考核惯性力作用产生位移和形变的离心试验（以离心力模拟惯性力，设备见图）、为考核对温度和温变的适应能力的温度试验、为考核低气压影响的低气压试验、为考核耐受运输中的低频振动的运输模拟试验等。若有设备还可以进行复合环境模拟试验，例如高温下的振动试验。此外，从核武器遭遇异常环境下能否保证安全的考核出发，还必须进行异常环境模拟试验，例如一定烈度的火烧环境试验。在这些地面环境模拟试验中一般均将核材料用模拟材料置换，甚至炸药和火工品也可酌情用模拟材料置换。



我国应用的大型离心试验机

（撰写：俞大光　审订：郑绍唐）

hewuqi huishang chengdu

核武器毁伤程度 nuclear weapon damage level 核武器爆炸毁伤因素对遭袭目标产生杀伤破坏的轻重程度。对人员目标，一般称核武器的杀伤程度；对武器装备和工程设施等目标，一般称核武器的破坏程度。根据目标效能的丧失程度、修（恢）复的难易和修（恢）复周期的长短，可将毁伤程度分为四级，即对装备设施分为轻微、中等、严重和完全破坏；对人员分为轻度、中度、重度和极重度杀伤。也可分为三级，即将完全破坏并入严重破坏，极重度杀伤并入重度杀伤。一般来说，轻微（或轻度）毁伤虽然目标效能有所降低，但一般尚可继续使用（或未丧失战斗力），通常经现场抢修（或救治）即可恢复；中等（或中度）毁伤目标效能丧失较多，需送专门修理所修理（或住院治疗）；严重（或重度）毁伤目标效能基本丧失，需要送厂大修（或长期住院治疗）。战时对目标毁伤程度的估算，主要用于评价核爆炸对部队战斗力及作战指挥的影响。它主要取决于以下因素：(1) 核武器爆炸的威力与方式（威力、爆高）；(2) 目标类型及其防护程度；(3) 目标分布及其离爆点的距离；(4) 气象与地形条件。如果其他条件相同，则核爆炸威力越大、距离越近、目标越脆弱，其毁伤程度越严重。 （撰写：李江辰　审订：王　坚）

hewuqi huishang yinsu

核武器毁伤因素 nuclear weapon damage factors 核武器爆炸产生的对目标具有杀伤破坏作用的各种因素。主要有核爆炸冲击波、光辐射、早期核辐射、核电磁脉冲以及放射性沾染，通常简称为核武器的五大毁伤因素。这些因素中，前五种毁伤因素在核爆炸过程中产生并发生作用，持续时间很短（约数十秒以内），称为核爆炸的瞬时毁伤因素。而放射性沾染作用范围较广，持续时间较长。核武器毁伤因素对遭袭目标的毁伤效应，一般以冲击波与光辐射的作用为主；早期核辐射作用范围较小，只有在小威力爆炸时才较重要；核电磁脉冲主要是对电子设备的破坏，在爆高高于80 km以上的近地空间（高空）核爆时更为突出；而放射性沾染，主要在地面核爆炸时才考虑它的杀伤作用。上述毁伤因素的主次地位也可根据需要进行"剪裁"，如中子弹，就是通过"剪裁"（削弱）核爆炸冲击波与光辐射的能量份额，而增强核爆炸高能中子杀伤效应的一种核武器。

（撰写：李江辰　审订：王　坚）

hewuqi huishang yinsu yu xiaoying yuce

核武器毁伤因素与效应预测 nuclear weapon damage factors and effects predication 简称核爆炸预测或核估算。根据核爆炸探测参数，核爆炸时间、位置、威力、方式、目标与气象数据等，对核武器爆炸毁伤因素的参数和遭袭目标的毁伤效应，进行快速计算和评估。主要作业内容有：计算和处理核爆炸探测获取的信号，提供核爆炸的威力、比高和位置；

计算提供核爆炸各种毁伤因素参数，如超压、曝辐量（光冲量）、辐射剂量、电场强度和放射性沾染地面γ辐射水平等；计算提供战场人员、武器装备和工程设施等目标遭受核爆炸的毁伤程度与范围（半径）；评估核爆炸对部队战斗力的影响等。核估算是一种快速的概略预测手段，可及时提供核爆炸对部队造成的概略毁伤情况，对核条件下的作战、指挥与部队防护具有重要的作用。其主要预测方法和器材，是根据理论分析和实际测量，获得核估算数学模型，建立以计算机为核心的核估算系统。

（撰写：李江辰 审订：王 坚）

hewuqi jiebao

核武器解保 arming nuclear weapon 使核武器由保险状态到待爆状态的动作。为了核武器安全性和保安性，其引爆控制系统中通常设置了多级保险，必须将各级保险逐一予以解除才算完成解保动作。已解保的核武器只需引信装置给出一个引爆信号，引爆装置就能给出符合技术要求的引爆电脉冲使核装置起爆。（撰写：俞大光 审订：王铁铮）

hewuqi kekaoxing

核武器可靠性 reliability of nuclear weapon 核武器能够可靠使用的程度。其定量指标包括可投射率和核爆可靠度，还可以包括贮存寿命。可投射率是指临投射前按规定作各项检查表明能适时投射的概率。核爆可靠度是指核武器在投射正常且无敌方拦截破坏的情况下，按规定要求实现核爆的概率。虽然这些参数对一批同型号核武器来说是未知的，但可以通过先验知识和试验数据进行评估。通常给出一个需要的置信度，即可评估出在此置信度下这些参数的下限值。由于核武器一般难以按实际环境进行试验，通常只能由其各分系统甚至下属装置的可靠性数据进行综合，而且给定的置信度也不能高。为提高核武器的可靠性，除应加强在生产中的质量控制外，还必须进行可靠性设计并制定在贮存中的定期检测和维修办法，包括易损件、短寿命件的定期更换办法。

（撰写：俞大光 审订：郑绍唐）

hewuqi leida yinxin

核武器雷达引信 radar fuze of nuclear weapon 用雷达测距原理制成的核武器引信。雷达引信中包括引信机和天[线及其]馈[电]系统两部分。引信机由发射、接收和终端三个部分组成。作用原理是利用发射的电波经地面散射后，有一小部分（称为回波）经天线为机中接收部分接收，即可根据从发射到接收的间隔时间 $t = 2h/c_0$ 来判知从发射点到地面的高度 h，式中 c_0 为电波在真空或大气中的传播速率，是一固定值（$c_0 \approx 3\times10^8\,\mathrm{m/s}$）。引信机中的终端是用以检测并输出引爆信号的电路。根据所需装定的爆高 h_0 算得 $t_0 = 2h_0/c_0$，当终端检测到 t 与 t_0 相等时即输出引爆信号。雷达引信的天线一般是收发共用，因此需加环行器以隔离收发之间的直接传输。又天线在弹表应布设多根，使其辐射能覆盖弹的环周，以保证弹在旋动时任何瞬间都有垂直指向地面的电波辐射。弹上还可能装有并用的两台引信机以提高可靠度，但又需共用天线。因此与引信机配套的需要一个稍复杂的天馈系统。在核弹头上的天线还要有防再入烧蚀的措施。雷达引信是核武器引信中精度最高的，其缺点是容易受到敌方干扰，另外本身也因较复杂而可靠性方面稍有逊色。

（撰写：俞大光 审订：王铁铮）

hewuqi liuti donglixue shiyan

核武器流体动力学实验 hydrodynamic experiment for nuclear weapon research 研究不含裂变材料的热核武器初级的内爆系统性能的实验。这种实验不释放核能。可以是裂变材料用非裂变材料替代的武器装置的全尺度实验，也可以是缩比实验，或者是部分装置的实验。有时也将研究炸药爆轰产生的高压、冲击波和高温作用下物质性能的实验包括在这类实验中。核武器中所用材料在炸药爆轰产生的极高压力作用下像液体一样流动，因此称为流体动力学实验。流体动力学实验可提供核点火前装置各物质层在运动过程中的形状和状态，研究内爆对称性，帮助确定核点火时刻，估计设计可靠性和可能的威力。应用先进的光学和电子学诊断技术、尤其是利用闪光X射线照相技术，可达到亚毫米精度测量高速运动物体瞬间的形状和界面位置，确定被压缩物体的密度分布，应用计算机辅助层析照相还可得到三维立体图像。电子学测量的时间分辨能力已达纳秒。实验还可以对计算机数值模拟计算程序进行标定，大大提高计算精度和可靠性。在不做核试验的情况下，流体动力学实验将成为核武器的改进或改型、评估库存核武器可靠性、安全性的重要手段。

（撰写：郑绍唐 审订：刘恭梁）

hewuqi lucheng changdu yinxin

核武器路程长度引信 path length fuse of nuclear weapon (PLF of nuclear weapon) 见核武器惯性引信。

hewuqi qiya yinxin

核武器气压引信 atmospheric pressure fuze of nuclear weapon 通过感受核武器在弹道飞行中的大气压力变化而工作的引信。气压引信是由一个加装了输出接点的气压表和由弹壳上的气压孔连通到气压表的管路组成。大气层中大气压力随高度的上升而减小，故核炸弹下落时感受到的大气压力由小变大。当压力增大到与原预置的数据相等时，气压引信就发出一个接点开闭信号作为引爆信号。气压引信的主要误差源在于目标区的气象变化，其次在于管路时延的波动和装定的精度。

（撰写：俞大光 审订：王铁铮）

hewuqi ruanhuishang xiaoying

核武器软毁伤效应 soft destructive effects of nuclear weapon 遭受核打击而引起的社会心理效应、社会经济后效效应及生态遗传后效效应。从影响深度和广度来看，社会心理效应又是起主导作用的影响因素。因此，核武器的软毁伤效应主要指核打击引起的人的心理行为的变更以及由此引起的社会效应。核打击作为一次灾变性事件对个体、群体及社会产生一种强刺激，其效应将波及三个层面：(1) 个体、群体的心理。产生多种形式的不良心理现象，如焦虑不安、抑郁，烦躁、恶心、呕吐、失眠，精神木讷等，进而产生如下心理效应：恐惧、意志崩溃、精神活动强度水平提高等。(2) 社会心理。核打击所造成的社会心理效应有长期效应、短期效应、超前效应和滞后效应四种。长期效应是指长期存在的心理效应，如广岛、长崎遭原子弹袭击后的相当长时间内人们仍担心放射性沾染的危害；短期效应是指在一定时期内引起的混乱、惊慌，恐惧心理及短期内的流言，短期心理效应范围主要是受灾区和疏散区，它包含了心理效应主要部分，如精神活动分化、道德行为分化等；超前效应指未受灾地区惶惶不安，尽管该地区不一定受灾，但由于流言、自我推测与想象引起的

种种心理现象，超前心理效应地区可能很大，人数可能很多；滞后效应指灾变后暂时还显示不出引起人们心理效应的影响，而过一段或相当长的时间才出现心理效应，从而引起危害效果。(3)社会机能。核打击的软毁伤效应通过灾变社会放大机制可以使灾变的信息放大和传播，导致灾变冲击波不断向外扩散升级，通过与运行环境发生交互作用，进而对社会机制产生强烈影响。这种影响能够超越灾区时空而将危害波及更大时空范围，导致社会巨系统的强干扰、整体震荡甚至崩溃瓦解。其形式有：政府领导指挥中断受阻、社会控制力和凝聚力减弱、经济崩溃、社会动乱等。　（撰写：甄 涛　审订：唐西生）

hewuqi shengcun nengli

核武器生存能力　vitality of nuclear weapon　现役核武器在敌方发动对我方进行第一次核打击后保持完好的能力。这种能力对已承诺不首先使用核武器的国家尤为重要。为了提高生存能力,核武器必须有良好的机动性能以便经常变易位置使敌方难以发现,并可隐藏在深水潜艇或山洞之中,即使受到攻击也相对安全一些。为了获得良好的机动性能，核武器应小型化轻量化,并能耐受严酷的环境条件;应简化作战准备中的总装和检测要求,因此要求有较高的可靠性,以便作战时能快速投射以免贻误战机。　（撰写：俞大光　审订：郑绍唐）

hewuqi shigu xiangying

核武器事故响应　nuclear weapon accident response　又称核武器事故应急行动(nuclear weapon accident emergency action)。在发生核武器事故的紧急状态下为控制或减轻导致紧急状态的事故后果而采取的行动及措施。核武器事故系指涉及核武器或其核部件的意外事件并可能导致以下任何一种后果：(1)核爆炸；(2)核武器或核部件的非核爆炸或燃烧；(3)核武器或核部件的投弃或丢失；(4)放射性污染；(5)化学毒物或爆炸危险所致公众危害。

核武器事故的主要响应行动可大体分为四类：(1)组织指挥：包括事故报告和通知，应急决策，早期和后续响应部队以及各种响应能力与行动的部署、管理与协调，实施事故现场地区封锁或临时军事禁区的划定、调整与撤消等；(2)武器作业：包括探明未爆武器位置、状态、危险、危害，进而制定、评审、批准与实施爆炸物处理程序；或搜索、收集武器碎片，把武器部件或碎片移到安全集结区，并包装和装运；(3)辐射控制：包括早期和后续的预测污染与剂量水平和范围，巡测与划定污染边界，制定与实施辐射控制方案，进行工程与环境研究、制定、评审、批准和实施场地恢复标准与计划，以及场地恢复全过程辐射监测；(4)其他方面：包括治安保卫保密、通信支援、后勤保障、公共事务、新闻报道、消防、医学处理和办理索赔等。核武器事故的主要响应力量是军队，还需要有关专家、应急决策专家系统、政府有关部门、民间机构和必要时的国际支援，由于核武器事故具有时空随机性，对其响应需有充分准备，且其响应力量应具备高度的机动能力。　（撰写：李 喆　审订：胡思得）

hewuqi shouming

核武器寿命　lifespan of nuclear weapon　核武器从出厂到无法满足战术技术性能和作战使用要求的整个过程的时间。它和核武器的设计、材料的选用、加工制造、贮存状态、贮存环境和使用环境密切相关。由于核武器价格昂贵，设计中必须认真考虑所用材料（特别是核材料）的贮存稳定性、材料间的相容性、材料和部件在贮存环境中的适应性以及易损部件（如电子设备）的维修性等问题。在贮存中对某些部件需要采取特殊措施（如温度控制、表面处理等）可以延长核武器的寿命，允许短寿命或易老化的零部件定期更换，也是增加核武器贮存寿命的有效措施。

（撰写：段占元　修订：叶名兰　审订：唐西生）

hewuqi sunshang shanglei shangqing dengji

核武器损伤伤类伤情等级　nuclear weapon injury classification and level　根据人员受核武器毁伤因素作用造成损伤的类型、轻重和对战斗力的影响程度而划分的伤情区分。人员受核武器单一杀伤因素作用，发生单一伤，如烧伤、冲击伤、放射损伤；如受两种以上（含两种）毁伤因素共同作用，则可发生复合伤，如烧冲复合伤、放烧冲复合伤等。复合伤名称中，各损伤排列次序，重者在前，轻者在后，各类损伤按伤情又可分为四级：轻度损伤，少数人员对作战行动有影响，全部可治愈；中度损伤，一般失去战斗力，绝大多数可治愈；重度损伤，失去战斗力，大部分可治愈；极重度损伤，失去战斗力，部分可治愈。由于伤类和损伤部位不同，对作战影响也有差别。如放射损伤伤员，在战斗情况紧急时，有的在短时间内还能坚持战斗。又如，有的伤情并不重，但发生在眼部或手部烧伤，则仍会失去战斗力。

（撰写：王 坚　审订：毛用泽）

hewuqi toushe

核武器投射　projection of nuclear weapon　将核武器投射到预定目标所采用的方式方法。目前核武器已有了多种类型的投射系统，如弹道式导弹、巡航导弹和载弹飞机、火炮等。其中被广泛采用的是由弹道导弹（包括陆基弹道导弹和潜基弹道导弹）或巡航导弹发射投送，因这两种投送方式具有射程远、打击效果好等特点。核炸弹则由航空器携载投放，它可被航空器投放到预定的地面、低空和空中进行爆炸。美国和

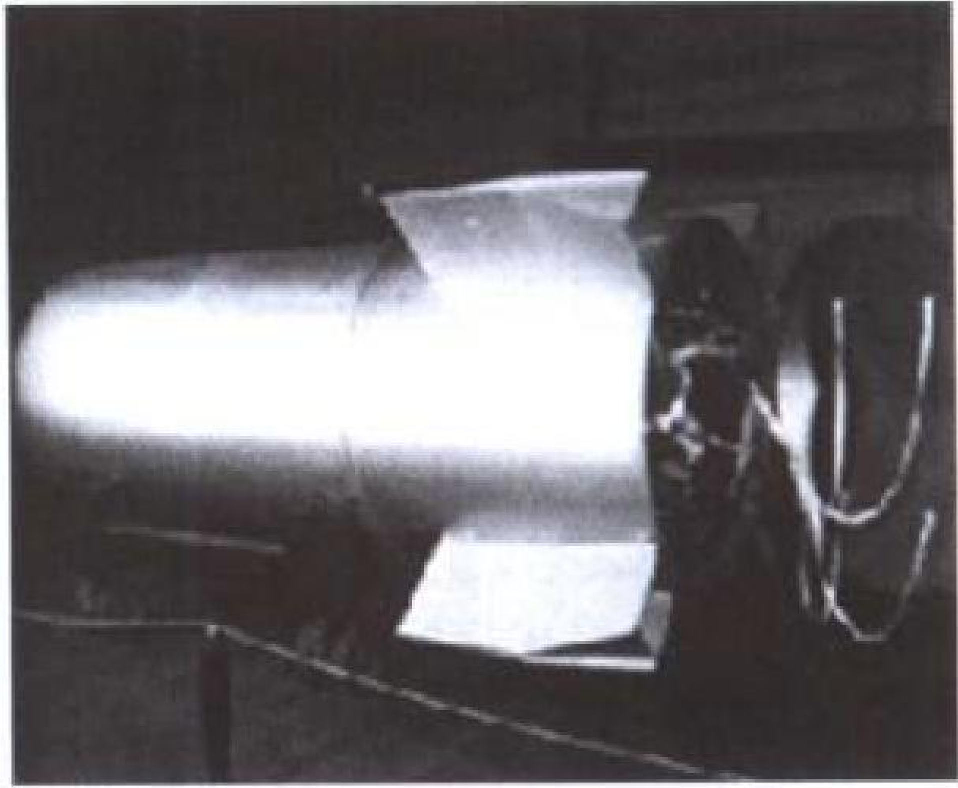


图1 美国W53核炸弹



图2 核炮弹发射试验

前苏联在原子弹试验成功后，首先发展的就是核炸弹（见图1）。我国于1965年也成功地进行了第一颗核炸弹的核爆炸试验。核炮弹由火炮发射，且由于核炮弹具有体积小、重量轻的特点，因此这种发射方式便于战场使用（见图2）。

（撰写：段占元　审订：唐西生）

hewuqi tufang nengli

核武器突防能力　penetration ability of nuclear weapon　核武器能突破敌方各种防御对抗保持战斗性能的能力，包括反侦察突防和反拦截突防两大类。前者旨在防止或推迟被敌方发现，后者旨在避开敌方拦截攻击或加强自身的防护能力。前者的方法有：(1) 超低空进入技术；(2) 隐身技术；(3) 施放诱饵或真假弹技术。后者的方法有：(1) 在弹道导弹上安装多弹头技术；(2) 针对核拦截的抗核加固技术；(3) 弹上电子系统抗电磁干扰技术等。当然，以上这些方法不少是由运载工具采用的，但在核武器设计中也要有相应的适配。

（撰写：俞大光　审订：郑绍唐）

hewuqi weixiuxing

核武器维修性　maintainability of nuclear weapon　有故障可修复的核武器（或部件）在一定的维修资源条件下进行维修的难易程度，通常用维修时间作定量描述，它与产品设计中是否妥善考虑维修有关。在核武器的研制中应把维修保障系统作为整个武器系统的一个子系统同步研制，做到协调一致，并对核武器使用过程中的各个阶段提出特定的维修性要求。

（撰写：段占元　审订：唐西生）

hewuqi wuli

核武器物理　nuclear weapon physics　研究核爆炸反应过程的现象和规律，为物理设计提供各类参数，发展、研究实验装置和诊断手段等为内容的学科。核武器物理是一门综合性应用学科，是核武器设计中新思想、新概念的源泉和核武器持续发展的基础。核武器物理大体包括：(1) 爆轰物理，动高压物理和非定常流体力学；(2) 高温、高密度等离子体物理和辐射流体力学；(3) 内爆动力学；(4) 核反应动力学、中子输运理论、原子物理；(5) 计算物理；(6) 核爆诊断技术。

（撰写：郑绍唐　审订：竺家亨）

hewuqi xiaoxinghua

核武器小型化　nuclear weapon miniaturization　核武器在相同威力下向尺寸小、重量轻（即高比威力）方向的研究发展。核武器小型化是提高核武器综合性能的核心。热核武器小型化要求核弹的各部件都做到尺寸小、重量轻。核弹头包括核战斗部与弹头壳体（有的弹头还有制导、突防装置），核战斗部又包括核装置与引爆控制系统以及结构部件。所以，核武器小型化要求采取多种高新技术，使各部件全面缩小体积、减轻重量。对热核装置来说又包括初级小型化和次级小型化，都要求在物理设计上有新的突破。其中初级小型化就要求有1～2次设计原理突破。核弹头小型化对提高核导弹的射程有直接关系。

（撰写：郑绍唐　审订：竺家亨）

hewuqi yaoce xitong

核武器遥测系统　telemetry system for nuclear weapon　适于对核武器各部分工作参数作远距离测量的系统。由检测、采集、传输、记录、显示及处理等部分组成。可分为回收遥测和实时遥测两大类。前者采用较多的是磁记录回收，又可分为软回收和硬回收两种。软回收是在核弹或其模拟体即将破坏之前由外部（例如引爆控制系统）发信号使记录数据载体随专设的弹跳机构无损弹出弹外并进行回收。硬回收只适于非爆炸弹，是将记录数据载体用钢壳保护好以便触碰地面后靠惯性力钻入地中从而得到回收。这两种回收方式对核武器来说均难采用，因为有些要测量的重要参数都在近地段甚至触地时。实时遥测除个别特殊情况可用有线遥测外，都是无线遥测。无线遥测按其工作波长可分为短波遥测、米波遥测和微波遥测；按制式可分为连续波遥测和脉冲遥测；按分路方法可分为时分遥测和频分遥测；按传输量属性可分为模拟量遥测和数字量遥测。遥测系统的检测、采集、发射部分在弹上；接收、记录、显示及处理部分在地面。遥测地面部分为了野外设站执行任务方便多采用装车形式。为保证可靠接收，地面遥测站应设置多个且分散开，必要时还需设遥控（无人）站。核武器遥测系统通常只用于研制期间或产品的飞行考核，实战中很少应用。

（撰写：俞大光　审订：王铁铮）

hewuqi yidian anquan

核武器一点安全　one-point safe of nuclear weapon　核武器在异常环境（撞击或枪击等）下武器中炸药的任何一点起爆时所达到的安全性能。美国军标对这一性能的要求为：主炸药任何一点起爆所产生的核能释放大于4 lb TNT当量的概率小于 10^{-6} (4 lb 约为 1.8 kg)。对于处在警戒和运输状态下的核武器，一点安全十分重要。核武器为了达到一点安全的规定性能，必须进行大量模拟实验和三维数值模拟计算。

（撰写：郑绍唐　审订：刘恭梁）

hewuqi yinbao

核武器引爆　firing the nuclear weapon　使核武器中的核爆炸装置起爆的动作。核武器引爆控制系统向核装置输出符合技术要求的多路引爆电脉冲，即完成这一动作。此时核装置中的爆轰序列即行起爆；但此后还需要有核点火才能引发核爆炸。

（撰写：俞大光　审订：王铁铮）

hewuqi yinxin

核武器引信　fuze of nuclear weapon　根据敏感到的信息，通过处理和计算，适时向引爆装置发出引爆信号的设施。这里既不含引爆装置，更不包括起爆序列，这是与常规武器引信在概念上的差异。核武器引信可分为触发与非触发两大类。前者是利用接触目标获取信息即时发出引爆信号的设施，适用于打击坚硬的点目标。后者则用于对面目标或集群目标，实施空中或水下爆炸进行打击。非触发引信品种较多，有雷达引信、惯性引信、气（水）压引信等。为了提高引爆可靠性，在核武器中常装备多种不同原理的引信。哪台引信最先发出引爆信号，该台引信就起了作用。由于各台引信发引爆信号的高度存在着随机误差，所以其装定爆高都应比整个武器的装定爆高为低；随机误差大的更是如此。根据理论和一些先验知识，对这种复合引信，可利用武器中的微型计算机实施综合择优或数据融合，以保证整个武器的爆高偏差不致过大。

（撰写：俞大光　审订：王铁铮）

hewuqiyongzhongzi fashengqi

核武器用中子发生器　neutron generator used in nuclear weapon　又称脉冲中子管，简称中子管。用作核点火中子源

的一种小型加速器。这种加速器是一个真空管或充气管，管子的一端为离子源，另一端为氚靶，使用时两端加脉冲高电压，当氘离子束流在脉冲高电压加速下轰击靶上的氚原子核时发生聚变反应，放出脉冲中子。加电压时间受同步长延时信号控制，时间精确度要求在零点几微秒。中子发生器放在裂变装置或氢弹初级外面，叫“外中子源”。外中子源的优点是便于灵活掌握中子注入时间，同时对于在裂变芯中难于放置中子源的设计（如助爆裂变武器），外中子源更是必需的。中子发生器是第二代核武器的关键部件之一。

（撰写：郑绍唐　审订：俞大光）

hewuqi yunyong yunchou fenxi

核武器运用运筹分析　operation research and analysis of nuclear weapon employment　定量分析核武器运用问题并选择优化方案的理论、方法和活动。目的是为核武器的正确运用提供理论指导和数量依据。核武器运用运筹分析包括实战运用运筹分析和威慑运用运筹分析两种。实战运用是指在战争中的核攻击与核报复；威慑运用是指用核武器的存在、部署、调动、演习等炫耀核武力的方式，对敌方产生巨大的心理抑制作用。实战运用运筹分析内容，包括选择打击目标、确定打击次序、进行目标分配，拟定核袭击部队的统一核战计划实施方案，预测袭击效果。威慑运用运筹分析内容，包括根据本国的军事战略方针确定核武器的使用方式和发展规模。核武器运用运筹分析的基本方法是通过构造数学模型，进行计算机模拟，研究在各种不同的力量态势、战略目标等的初始条件下，可能发生的核大战的各种问题。根据输入的数据，运用模型系统生成全球性核战争计划，模拟各种预定事件，确定核武器运载工具的最佳分配，检验和改进既定作战计划的期望值等。有核国家都十分重视核武器运用运筹分析。例如，美国“确保摧毁”的核威慑战略，以及战略力量的构成和发展数量，就是核武器运用的专门研究部门经过精心论证之后才确定的。（撰写：容嘉信　审订：唐西生）

hewuqi zhanshu jishu xingneng

核武器战术技术性能　tactical characteristics of nuclear weapon　核武器在作战使用中所具有的特性和能力的总称。包括威力、射程、命中精度、爆高可调性、安全性、保安性、可靠性、突防能力、生存能力、战备反应时间、贮存期和维修性等。威力是用核武器爆炸时释放的总能量计量的，惯用吨TNT当量为其计量单位。射程主要决定于其运载工具，但又与核武器本身的体积和质量有关。命中精度决定于投射时用的瞄准设备和运载飞行中的制导设备，后者也可部分配装在核武器内部。大威力战略核武器一般采用空中爆炸方式，此时爆高的可调性和精度对毁伤效果有较大影响。安全性是指核武器在正常的维护使用过程中防止发生意外的、涉及人身和场地设备安全的事故的性能。保安性是指核武器能抵制任何非授权的使用和在异常环境或被袭击下保证安全的性能。可靠性一般是指正常投射的核武器在战术技术要求的爆高范围内能够正常工作释放出规定的核爆炸能量的概率。突防能力是指核武器使用过程中受到敌方电磁干扰和武器拦截时能够突破敌方防线完成作战任务的能力。生存能力是指现役的核武器能够在遭受敌方核或非核的打击后能够保持完好的能力，这与核武器机动性能密切相关。战备反应时间是指从接到使用核武器的作战命令起到核武器开始投射的时刻止总共需要的准备时间。贮存期是指核武器在规定的贮存环境下进行规定的检测维修，能够保持完好的规定贮存期限。维修性是指核武器在服役期中经检测发现故障后能够较易地对其进行维修使武器恢复完好状态的性能。

（撰写：俞大光　审订：郑绍唐）

hewuqi zhucun baoguan

核武器贮存保管　storage and custody of nuclear weapon　核武器从出厂到使用或退役的全过程，对核武器进行检测、封存与启封、维护保养、修理、计量校验等一系列的技术操作，以便将环境对核武器的侵害减小到最低限度，并保证在应有的存放期限和使用寿命内使其经常处于良好状态的一整套措施。它主要包括：(1) 检测，贮存期间检测，通常可分为入库时的检测和定期性的检测，检测时可按抽查或普查方式进行。(2) 封存与启封，对长期不使用的核武器，为了避免和减少环境对其侵害，保持其良好技术状态，延长核武器的贮存期限和使用寿命，通常需要对其进行封存。启封是对封存的核武器经过一系列技术处理以后使其恢复其原使用状态的过程。(3) 维护保养，核武器在贮存过程中，为保持其正常技术状态而进行的技术操作。(4) 修理，为恢复核武器的技术性能，保证核武器经常处于良好技术状态而进行的技术工作，它是确保作战、训练使用装备的一项重要技术勤务保障工作。(5) 计量校验，这是恢复精密仪器、仪表设计精度的技术手段。通过校验消除使用仪器、仪表的精度误差，以提高核武器检查测试的准确性。

（撰写：段占元　修订：叶名兰　审订：唐西生）

hewuqi zhucun huanjing

核武器贮存环境　storage environment of nuclear weapon　存放核武器场所的环境。由于核武器采用了大量彼此相容性很差、对环境因素极为敏感以及放射性危害很大的材料和部件，因此核武器在贮存过程中对环境要求极为严格。一般来讲，核武器的贮存库房应具备以下基本条件：(1) 库房应具有防火、防洪、防风暴、防高温、防严寒、防地震、防鼠虫、防污染的设施、设备和具体措施；(2) 各贮存、工艺间应有良好的空调通风设备，以满足各类贮存部件的温、湿度要求；(3) 库房应设有高质量的防静电、防雷电的设备和消防器材；(4) 库房内外不应有影响核武器安全的物品以及进行危及核武器安全的作业。此外，对于核武器的部组件还要求：(1) 根据各类部、组件的物理性能和化学性质，应分类集中存放，放置要有序，便于检查、维护、保养和出入库房；(2) 炸药、雷管应适当摆放，并严禁使用皮毛、塑料等容易起静电的物品覆盖或接触；(3) 核材料排列要合适，间隔距离必须满足次临界度要求，不得用塑料制品垫底，不得混放、倒放或乱堆放；(4) 部、组件在库房内应按用途、批次不同分别存放，每批应有区域线，批次之间应有分界线，库内供人员、物资通过的工作通道和检查通道要有一定的高度。此外，还需要建立良好的安全环境，以确保库存核武器的安全。

（撰写：陈旭舟　修订：段占元　审订：唐西生）

hewuqi zhucunqi

核武器贮存期　storage life of nuclear weapon　核武器在规定储存环境下按规定状态贮存并按规定进行维护检测的前提下，能保证其规定的可靠性指标的规定贮存期限。核武器有较高的可靠性。核武器贮存期的规定通常应低于其平均寿命，为保证有较长的贮存期，核武器通常规定以大部件分装状态

贮存在包装箱内，并随全套核武器提供一定数量的备件，以备定期检测中将易损件、短寿命件和偶然出现故障的装置进行更换。在战云密布的情况下，可根据国家酌情下达的战备口令转为整体状态贮存，以便一旦需要可以快速投入战斗。这种整体贮存期应另有规定，通常不会很长。规定贮存期届满的核武器，如经过在检测基础上的延寿论证认为可以延续使用，应订出合理的延长贮存期限并继续贮存备用，否则应作退役处理。

（撰写：俞大光　审订：郑绍唐）

hewuqi zhuangding baogao

核武器装定爆高　preset burst height of nuclear weapon　空中引爆的核武器在使用前预先设置的、从爆点到目标区地平面的相对高度。由于核武器威力巨大，为了扩大其毁伤效果，应根据目标性质和武器威力选择一个最佳值爆高。核武器在使用前且目标确定后即可按此最佳值装定爆高。但实际爆高与装定爆高之间又常有偏差，这就是爆高误差。由于核武器中有多种空爆引信并用，每台引信机又各有其爆高误差分布，因而每台引信机的装定爆高应适当低于整个武器的装定爆高（参见核武器引信）。同样理由，水下爆炸的核武器也有一个装定爆深。　（撰写：俞大光　审订：王铁铮）

hewuqi zhuangding baoshen

核武器装定爆深　preset burst depth of nuclear weapon　见核武器装定爆高。

hewuqi zihui zhuangzhi

核武器自毁装置　self destruct device of nuclear weapon　将安全[自毁]系统发来的自毁信号转换成符合需要的电脉冲，以引爆自毁雷管使核装置解体或化爆自毁而失去核爆炸能力的装置。自毁信号可来自运载工具，也可来自地面指挥控制系统，但都必须经过转换，才能成为引爆自毁雷管的点火脉冲。自毁雷管通常只配设单个，对符合“一点安全”的核装置不会引起核爆炸，对未作过“一点安全”计算考核的核装置即使只是局部的核爆炸也很难引发。若要防止自毁化爆引起的核沾染，则不宜采用化爆自毁而只能用解体自毁，结构较为复杂。为了防止自毁装置误动作，还应增设自毁保险，只当核武器被投射出以后才能予以解除。

（撰写：俞大光　审订：王铁铮）

hewuqi zixiang cuihui xiaoying

核武器自相摧毁效应　fratricidal effect of nuclear weapon　用两枚以上核弹实施核袭击，因爆炸间隔（时间与空间双重间隔）过小，使己方核武器自相摧毁、失效或偏离预定目标，造成杀伤破坏因素削弱或失效的作用。引起核武器自相摧毁效应的破坏因素按其作用时间顺序可分为3类：(1)瞬时因素，主要是中子流、γ射线、X射线、核电磁脉冲等，这些因素出现在核弹爆炸的瞬间，持续时间很短，从十几微秒到几毫秒；(2)短期因素，主要是冲击波，出现在核弹爆炸后几毫秒到1 min左右的时间内；(3)长期因素，主要是近地或地面核爆炸产生的烟云、尘柱、碎片、骤风等，出现在核弹爆炸后1～30 min内。这些因素对与爆点邻近的、尚未起爆的核弹均有破坏作用。瞬时因素会损坏弹上的电子系统或干扰其工作，可能导致核战斗部的失效。短期因素和长期因素可引起核弹的结构破坏、偏离预定目标、降低命中精度和引信精度。这3种因素的破坏程度，取决于先起爆核弹的威力、爆高、以及后继核弹离爆心的距离和抗核加固的水平等。瞬时因素在爆后几毫秒将会大大减弱。在连射或齐射中，对核武器自相摧毁影响较大的是短期因素和长期因素。为避免核武器自相摧毁效应，除对核弹采取必要的抗核加固措施以外，也可从使用方式和结构上采取躲避措施。例如，选择合适的发射时间间隔和齐射瞄准点间距，以及在弹上安装特殊的控制起爆装置等。

（撰写：田翠英　修订：段占元　审订：唐西生）

hewuqi zongti sheji

核武器总体设计　overall design of nuclear weapon　按研制的核武器的战术技术性能指标要求，从总体上确定各分系统的前提要求与实施设想和总体布局结构，并在各分系统设计的基础上最后完成的全核武器设计。总体设计工作有以下几个方面：(1)根据现有的技术状况与使用部队和有关方面共同探讨论证拟研制的核武器的战术技术性能中各项指标要求，上报主管部门审核并据以下达研制任务书，作为设计的前提要求；(2)根据研制任务书拟定研制方案，进行与有关方面的外部和内部的技术协调；另一方面调研武器使用中将经受的环境条件，制定环境试验条件和试验方案，据此形成对各分系统的研制任务书，并进行一些必要的初步试验；(3)经过使用部队、有关方面和领导机关共同参与的方案评审，通过后确定研制总方案和对各分系统的研制任务书，转入工程研制；(4)在工程研制中根据各分系统的研制情况继续进行内外技术协调、总体布局结构设计和力学强度计算；组织有关分系统进行匹配试验和总体环境模拟试验，包括飞行试验；(5)制定总装工艺技术路线并发出总装技术装备的设计任务书；(6)在武器设计的全过程中实施可靠性设计与评审、安全性与保安性的设计与评审，并及时组织有关部件的贮存和相容性试验，以避免在工程设计终了时才发现在这些方面不能满足战术技术性能指标的要求而造成重大返工；(7)在工程研制阶段的末尾，根据各分系统鉴定性检测结果和总体鉴定性试验结果，作出新设计的核武器能够符合研制任务书中战术技术性能各项指标的要求的论证并申请设计定型。

（撰写：俞大光　审订：郑绍唐）

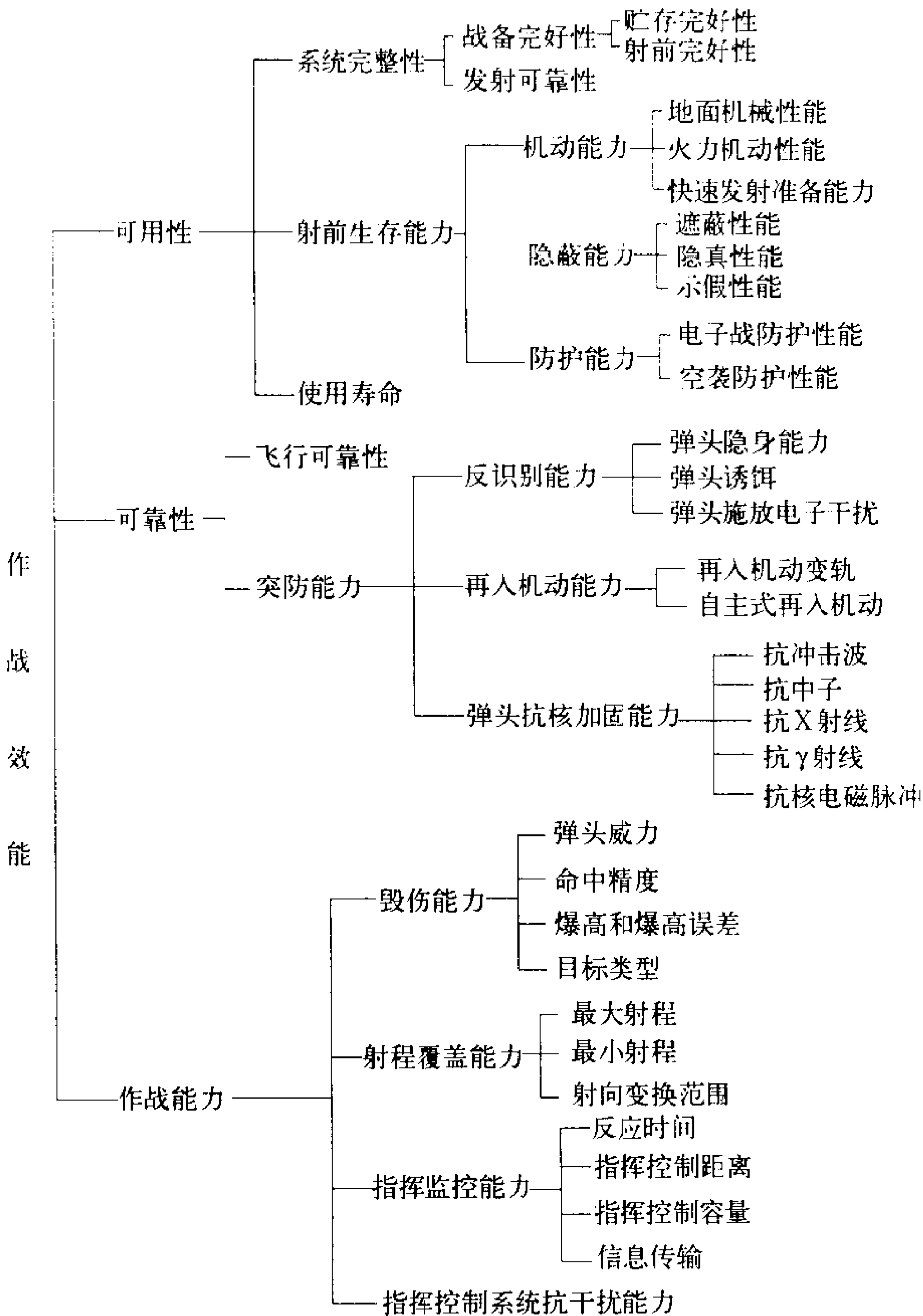
hewuqi zongzhuang shijian

核武器总装时间　time for total assembly of nuclear weapon　已交付的核武器从贮存状态按操作使用规程进行检测、分装、联检、总装和总体监测证明符合使用要求可以交付使用所需的时间。这一时间密切关系到核武器系统的战备反应时间，而后者又对贮存的核武器能否及时投射发挥战斗作用关系很大。核武器总装时间与核武器的设计方案和设计的贮存状态有关，而各分系统的可靠性尤其重要，因为这是按规定的检测次数和内容使核武器一次成功地通过检测的关键。

（撰写：俞大光　审订：郑绍唐）

hewuqi zuozhan xiaoneng

核武器作战效能　operation efficiency of nuclear weapon　核武器在使用时达到预期作战效果的能力。制定核作战计划需要为特定目标选择核武器系统，并确定打击方案，这些都与核武器系统作战效能有关。核武器系统作战效能涉及的因素很多，以地地弹道导弹核武器系统为例，影响导弹核武器系统作战效能的主要因素如图所示。



影响导弹核武器系统作战效能的主要因素

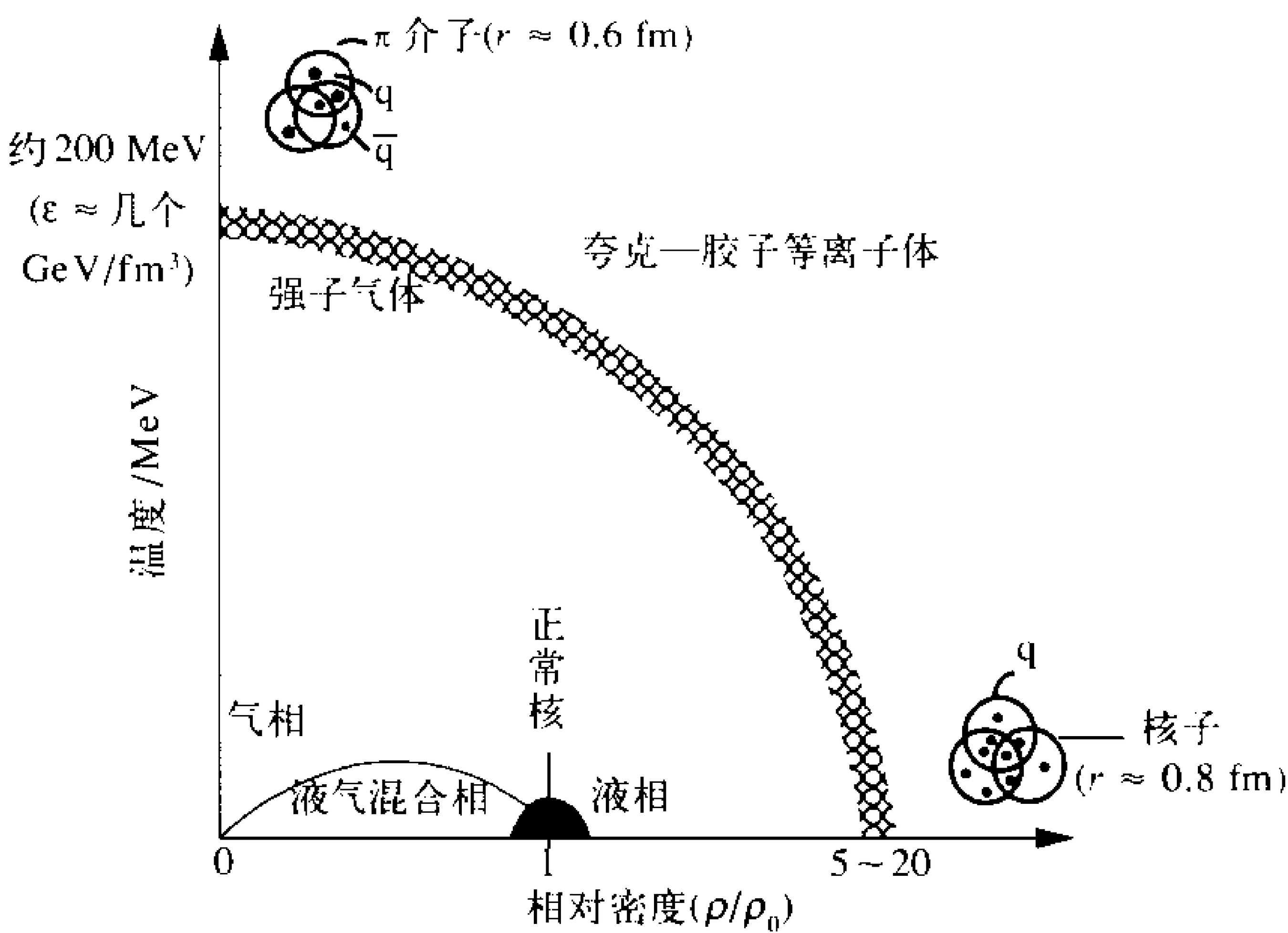
（撰写：吕 斌 审订：唐西生）

hewuzhi

核物质 nuclear matter 一种假想的由大量核子组成的均匀体系。在这种体系中，核子间具有完全的核相互作用而忽略其可能存在的电磁相互作用。每个核子具有两个内部自由度——自旋和同位旋，它可能处于4个内部状态中的任何一个，如自旋向上同位旋也向上，自旋向上而同位旋向下等。对核物质的理论研究不仅有助于了解作为有限核子体系的原子核的基本性质，而且通过对核物质状态方程的研究还可预测高温高密度条件下原子核的动力学性质。对于了解作为非常不对称核物质的中子星也很有帮助。核物质理论给出：对称核物质基态的核子数密度为 0.15～0.17 fm^{-3}、单核子的平均结合能约为 16 MeV、压缩系数（有时也称作不可压缩系数）约为 300 MeV。（撰写：江栋兴 审订：卢希庭）

hewuzhi xiangbian

核物质相变 phase transition of nuclear matter 随着核物质的温度或（和）密度的不断变化，理论预言核物质可能出现两次相变即液相向气相和强子气体向夸克—胶子等离子体的转变（见图）。基态核物质被认为处于液态（密度 ρ_0= 0.17 fm^{-3}）。当核温度 T 增至十几兆电子伏、密度减至约 0.05 fm^{-3} 时，核物质将经液—气相共存转变成气相。通常称它为核物质的第一次相变（见图左下角）。在高温高密度状态下的核物质被视作是强子气体。量子色动力学预言温度或密度的进一步增加，例如达到 $T>$ 200 MeV 或密度 $\rho \geqslant 10\rho_0$ 时，在强子气体中单个强子的性质不再保持而呈现成夸克—胶子等离子体状态，



核物质相变图

被认为发生第二次相变。研究核物质相变对于了解核物质的内部运动规律和粒子间的相互作用力是十分重要的。

（撰写：江栋兴 审订：卢希庭）

hexiji jingbao

核袭击警报 nuclear raid alarm 报知敌人核袭击威胁的信号。包括预先警报、紧急警报和解除警报。预先警报，在发现敌人可能进行核袭击时发出。紧急警报，在敌人即将进行或正在进行核袭击时发出。当直接受到敌核袭击威胁或发现核爆炸闪光时，可不等上级指示自行发放，包括通过核爆探测装置自动发放。解除警报，在敌人核袭击已过且不存在放射性沾染（剩余核辐射）时，由发出核袭击预先警报和紧急警报的单位首长决定发放或通过核辐射探测装置自动发放。

（撰写：巨大殿 审订：张宏濂）

hexinxi xinzaobi

核信息信噪比 signal to noise ratio of nuclear information 由辐射探测器得到的信号功率与噪声功率之比，常用分贝（dB）表示。对随机噪声常用均方根值表示。在核辐射测量中，不同的测量任务，对信噪比的要求不一样。为提高电路的信噪比，在能够获得最大信号幅度的同时，更要着眼于抑制电路的噪声，为此应当选择合适的低噪声电路元件，选择合适的成形电路等。（撰写：李君利 曾 志 审订：席德明）

heyixue

核医学 nuclear medicine 医学与原子核科学技术相结合而形成的一门新学科。它着重研究稳定性核素、放射性核素及其标记化合物、核辐射、带电粒子加速器等核科学技术手段应用于临床医学、实验医学、预防医学以及生命科学等领域的学科。核医学的主要内容包括理论基础、实验研究和临床应用三部分。其中实验核医学是借助于核科学与医学相结合的先进技术与手段揭示生物机体生理病理的机制及规律，为防病治病及提高人类生活质量提供理论与实践基础。临床核医学则是直接将核科学与医学相结合实现人体疾病的临床诊断和治疗。主要有：体内脏器功能的动态测定，应用γ相机、单光子发射型断层显像仪（SPECT）和正电子发射型断层显像仪（PET）进行脏器的功能与代谢显像，对疾病进行早期诊断；应用体外放射免疫分析、活化分析测定体内各种微量物质含量，从而对疾病作出诊断；应用放射性核素及标记化合物可对疾病进行临床治疗，包括内分泌疾病、肿瘤及心血管病等。核医学涉及放射化学、辐射物理、核仪器、放射测量

以及临床医学等领域，是医学科学现代化的重要组成部分，也是分子生物学，分子核医学发展的基础，前景广阔。

（撰写：吕延晓　审订：刘秀杰）

heyingji juece zhichi xitong

核应急决策支持系统　decision support system for nuclear emergency　借助于模型和算法，将放射性、气象数据、环境测量等信息，处理成能反映环境中辐射照射情景的图像，为决策者进行应急响应决策提供信息和支持的技术分析工具。世界上的主要核电国家都开发出了各自的核应急决策支持系统，按其适用的地理范围的大小，可以分为局地决策支持系统、国家决策支持系统以及洲际决策支持系统三大类。一般来说，一个完整的核应急决策支持系统应包括下列几个组成部分：(1) 放射性释放源项模型：分析放射性释放的特征，并估计放射性的释放数量；(2) 大气风场及扩散模型：使用当地的、区域的或国家的气象网提供的有关气象数据，对释放的放射性物质在环境介质中的空间和时间分布进行诊断或预测；(3) 辐射剂量计算模型：对释放的放射性核素在公众中产生的个人和集体剂量进行计算和评价；(4) 应急干预措施分析模型：借助于一定的方法和模型，对应急干预措施的有效性作出评价或预测；(5) 辐射监测网：在线提供环境介质中的辐射监测数据，使决策支持系统能够对放射性释放的辐射后果进行准确的诊断或预测；(6) 决策分析模型：借助于一定的决策分析方法与准则，对可选择的应急干预措施的利与弊进行决策分析，从中确定最为合理的应急干预行动方案。

（撰写：曲静原　审订：施仲齐）

heyingji tongxin

核应急通信　nuclear emergency communication　在核或辐射应急响应期间，利用通信手段传输数据和信息。应急通信是应急响应组织进行应急指挥的基本手段，其主要任务是快速准确地将应急信息和数据报告上级有关部门，通知各级应急组织，并在适当的时候向社会公众发布情况说明。同时，在整个应急响应期间要保障通信畅通，以利于及时采取相关的应急响应行动，从而最大限度地缓解和降低事故后果。应急通信的特点是通信要求具有突发性，通信位置的变化有时使通信不能按事先计划的方案进行，另外，环境的污染可能降低通信的速度和质量。针对应急通信的上述特点，应急通信应当具有快速、可靠、多重以及兼容的特性。

（撰写：曲静原　审订：施仲齐）

heyulei

核鱼雷　nuclear torpedoes　一种装有核战斗部的鱼雷。由携载平台发射入水，能自航、自控（自导），用于摧毁水中目标，是战术反潜核武器的一种。鱼雷一般由雷头、雷身和雷尾组成。雷头装有炸药，多数自导鱼雷雷头顶端装有声自导头；雷身装有动力装置、制导系统和控制系统；雷尾装有发动机、推进器和操纵舵。核鱼雷一般采用火箭推进，由潜艇鱼雷发射管发射，随后火箭发动机点火，出水后经过有制导的空中弹道飞行（约几十千米），再进入水中，用一种对噪声极不敏感的主动声纳系统进行目标测距和定位，通过有线制导指令控制起爆。核鱼雷需采用低威力（千吨级 TNT 当量）的核战斗部，因为水中发射鱼雷的射程太短，会使发射鱼雷的舰艇受到随之而产生的核爆冲击波和由水雾和水滴形成的放射性“基浪”的影响。美国曾部署过的惟一一种核鱼雷是 MK−45(ASTOR)（见图），直径48 cm，长571 cm，重1057 kg，射程 16～19 km，速度为 22 节（约 40 km/h）。后被新型的远程反潜核武器所取代。



美国 MK−45(ASTOR)核鱼雷

图出处：Gibson J N. Nuclear Weapons of the United States. Schiffer Publishing Ltd. 1996.

（撰写：竺家亨　审订：王连奎）

hezhadan

核炸弹　nuclear bomb　旧称核航空炸弹。用飞机运载和投放的装有核战斗部的炸弹（见图）。核炸弹的结构可分解为四个重要部段：即头部、中体（或中段）、后体以及尾段。头部主要装有解保和引信系统有关的电子设备；中体为核爆炸装置；后体为电源、点火装置、备用引信、起爆机构等电子部件；尾段是后体的延伸部分，外面一般装有空气动力学稳定尾翼，里面装有各种类型的减速或应急释放的降落伞及其有关开伞设备等。核炸弹用途广泛，作为战略核炸弹使用时，一般由战略轰炸机携带和投放，选择的威力较高，一般在几十万吨至几百万吨 TNT 当量之间。作为战术核炸弹使用时，一般由战术战斗机等携带和投放，选择核炸弹的威力要低一些，一般在几千吨至几十万吨TNT当量，弹体的尺寸和重量也相应小一些。美、苏、英、法、中从原子弹试验成功之后，首先发展的均是核炸弹。核炸弹成为生产最多、部署最广泛的核武器之一。后来发展的核炸弹在小型化、安全性和高速超低空投放能力等方面都有很大改进。近年来，随着飞机携带先进的、远程的、空中发射的巡航核导弹的增加，核炸弹的部署数量在逐步减少。



美国国家原子博物馆展出的 B−43 核炸弹

图出处：GibsonJ N. Nuclear Weapons of the United States. Schiffer Publishing Ltd. 1996.

（撰写：竺家亨　审订：王连奎）

hezhandoubu

核战斗部　nuclear warhead　核武器中直接完成战斗使命的部分。由核爆炸装置、引爆控制系统、其他必要系统及结构部件等组成，装入承载壳体（一般还包括制导、突防装置）后即构成核弹（核武器）。衡量核战斗部设计水平的主要指标是比威力，即威力与核战斗部质量之比，更合理的衡量指标是比等效百万吨数。

（撰写：郑绍唐　审订：俞大光）

hezhandoubu zihui

核战斗部自毁　nuclear warhead self-destruct　核武器投射后，为了安全或其他原因，有意使核战斗部失去核爆炸能力并自行毁坏。例如核导弹发射后因偏离轨道无法纠正而将射入友邻国家时，核载机飞行中因遭攻击负伤无法进入目标国

家且有坠毁可能时，都需要这种自毁，以免载核战斗部的弹头飞入友邻国家或在本国国土上爆炸造成极恶劣的政治影响和严重的伤害。但这种自毁有时难以避免因化爆而带来的核材料大面积污染的后果，故应慎重使用。

（撰写：俞大光　审订：郑绍唐）

hezhendong

核振动　nuclear vibration　原子核的形状在平衡形状附近所作的振荡，是原子核的一种主要的集体运动形式。如果振动时，原子核的体积保持不变（由于核物质的不可压缩性），则这种振动为表面振动。原子核的表面形状可以按球谐函数作多极展开，每一级展开系数随时间的变化都对应着一类多极振动。其中最重要的是四极振动，如 β 振动、γ 振动，其次是八极振动。核振动的主要实验证据为：(1) 在 $60 < A < 150$ 和 $190 < A < 220$ 等所谓过渡区，很多原子核的低激发能级间距大致相等，类似于分子振动的能级特征；(2) 振动态之间的电四极跃迁概率很大。　（撰写：周善贵　审订：卢希庭）

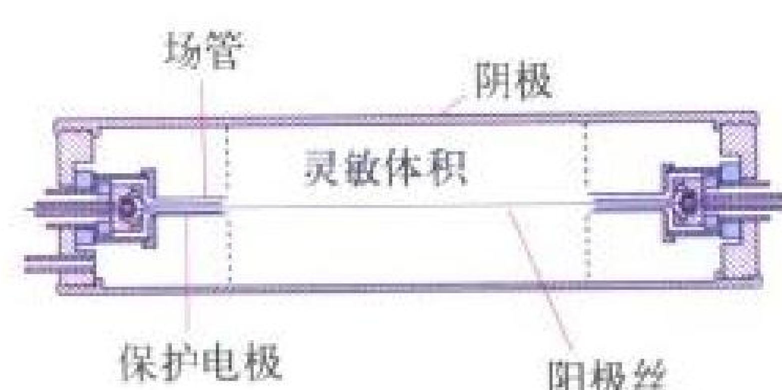
H

hezhengqi gongying xitong

核蒸汽供应系统　nuclear steam supply system (NSSS)　利用核燃料的裂变能转变为蒸汽热能以供给汽轮机做功的系统。它由反应堆本体、反应堆冷却剂系统以及为支持反应堆冷却剂系统正常运行和保证反应堆安全的核辅助系统和安全系统等组成。它的主要功能是把核燃料在反应堆中释放出的裂变能，以热能形式经过冷却剂的载带或转换，最终产生蒸汽，以驱动汽轮机做功；此外，它还具有保证反应堆安全运行的功能。压水堆的主要核辅助系统和安全系统有：化学和容积控制系统、余热排出系统、堆芯应急冷却系统、安全壳喷淋系统和应急给水系统等。该术语经常在核电厂供求双方的商务合同及其技术文件中使用，所指的具体范围随不同的核电厂供应商和不同的时期会有所差异。　（撰写：罗守仁　审订：张维忠）

³He zhengbi jishuguan

³He 正比计数管　helium-3 proportional counter tube　一种充有 ³He 气体的正比计数管（见图）。在管中所产生的起始电离是由中子与 ³He 进行核反应后产生的质子和氚核引起的，由于其反应截面较大，所以它对热中子和超热中子的探测效率较高，在核反应堆启动、核物理测量、石油工业的测井等方面有较广泛的应用。³He 气体的纯度对计数管的性能影响很大，必须消除 ³He 中的微量氚，³He 气价格昂贵，制备设备中必须有剩余气的回收装置，制作工艺相对复杂些。　（撰写：肖文明　审订：彭华寿）



³He 正比计数管示意图

hezhiliang

核质量　nuclear mass　原子核的质量。原子核的线度只有原子的万分之一，但其质量却占整个原子质量的 99% 以上。当忽略核外电子的结合能时，核质量 m_N 近似等于原子质量 m_A 与核外电子总质量之差

$$m_N \approx m_A - \sum m_e$$

式中 m_e 为电子的静止质量。稳定核素的核质量通常都是通过测定原子质量（确切地说是离子质量）来推算的。为了方便起见，在一般的核数据表中，只标明原子质量。1961 年国际理论及应用化学协会决定采用 ^{12}C 原子质量的 1/12 作为原子质量的单位，称为原子质量单位，记为 u。它的绝对值是

$$1u = 1.660566 \times 10^{-24} g$$

原子质量以 u 为单位时，其数值都非常接近一个整数，这个整数称为核质量数，用符号 A 表示。核质量数等于核内质子数 Z 和中子数 N 之和，即质量数等于核子数。人们发现，原子核的质量总是小于组成它的核子处于自由状态时的总质量，这个质量差额称为质量亏损。质量亏损 Δm 与核结合能 ΔE 之间有下列关系

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}$$

式中 c 为光速。核子结合成原子核时质量亏损越大，放出的结合能也越大。　（撰写：华　辉　审订：卢希庭）

hezhiliangshu

核质量数　nuclear mass number　见核质量。

hezhuandong

核转动　nuclear rotation　原子核势场空间取向的变化，是偏离球形的原子核的一种重要的集体运动形式。原子核发生转动是由于空间转动不变性受到了破坏。对于幻核（即满壳层核），其平衡形状是球形的，具有空间转动不变性。随着满壳层外核子的增多，原子核的平衡形状也会发生变化。对于远离满壳层的原子核，其平衡形状偏离球形，有时偏离很大，空间转动不变性受到了破坏。作为一个量子体系，它在空间的取向就会发生变化，即原子核发生了转动。实验上，原子核的转动表现为：(1) 远离满壳层的原子核的低激发能谱表现出典型的转动特征，即具有 $E_I \sim I(I+1)$ 的规律，形成了一条或多条转动带；(2) 转动态间电四极跃迁概率很大。

（撰写：周善贵　审订：卢希庭）

hezhuandong guanliang

核转动惯量　moment of inertia for nucleus　变形核的重要物理量之一，记作 J。如图 1 所示，对于偶偶变形核，考虑核绕 x 轴转动，其转动能 E_t 可经典地表示成

$$E_t = \frac{R^2}{2J}$$

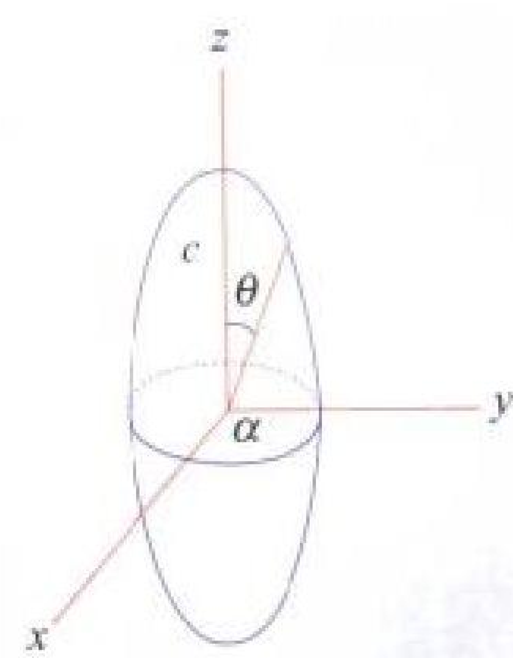


图 1　旋转对称椭球状核示意图

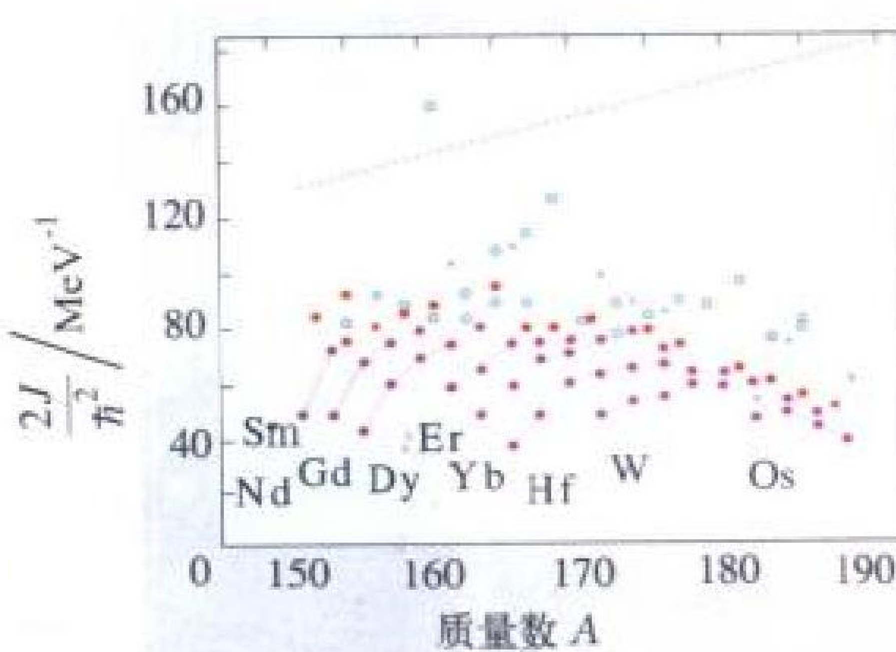


图 2　低转动态的转动惯量

●—偶偶核；●—奇质子核；○—奇中子核；×—奇奇核；----—虚线为核作为刚体的结果

式中 R 为核的转动角动量；J 为绕 x 轴的转动惯量。对于偶偶变形核建立在基态上的转动带，按照玻尔和莫特尔逊核转动能谱公式表示为 E_I（I 为核自旋）

$$E_I = \frac{\hbar^2}{2J} I(I+1) \qquad I = 0, 2, 4, \cdots$$

因此，实验上可从核的第一激发态的实验数据来确定 $2J_k/\hbar^2$。质量数在 150～190 间变形核的转动惯量如图 2 所示。

（撰写：夏宗璜　审订：叶沿林）

hezhuangzhi

核装置　nuclear installation　任何规模足够大以致必须考虑核安全的生产、加工、使用、处理、贮存或处置放射性材料的装置，包括其相关的土地、建筑物和设备在内。所谓规模大小，不是指占地面积或体积而言，而是指放射性物料量或其他相当参量。不同领域（如核武器、核保障等）对核装置有不同的含义，例如在国际原子能机构的核安全公约中，把核装置定义为任何一座陆上民用核动力厂（即核动力装置）。通常，核装置可包括核动力厂、核反应堆、临界装置、铀水冶和转化厂、铀同位素分离厂、核燃料元件制造厂、核燃料后处理厂、独立的放射性物料贮存装置、放射性废物处理装置、放射性废物处置场（库）等。核装置与核设施有时是同义的。但一个核设施可包含一个或多个核装置，例如多堆核电厂，核科学研究基地等。按照我国核安全法规（HAF 0500/0501），多堆核电厂营运单位必须为每一个核动力装置单独申请各项安全许可证，并向国家核安全监管机构作单独的定期报告和事件报告。在国际原子能机构的核保障年度实施情况报告（Safeguards Implementation Report，SIR）中，也要对核设施中的每一个核装置进行单独评价。（撰写：连培生）

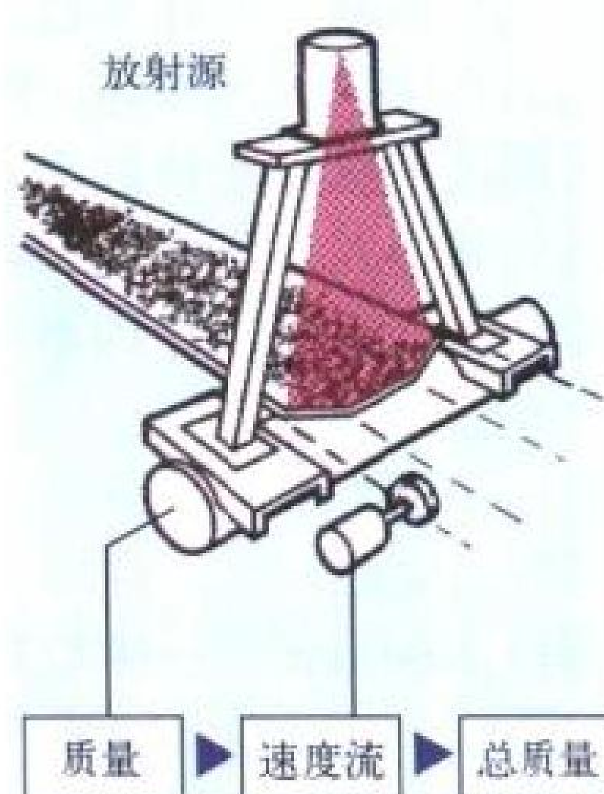
hezi

核子　nucleon　中子和质子的统称。中子和质子是组成原子核的主要组元，它们具有非常相似的性质：都是自旋为 1/2 的费密子，质量仅有千分之几的差别。中子和质子被认为是核子的两种状态。理论上引入同位旋概念，指定核子具有同位旋为 1/2，中子和质子状态分别相应于两个不同的同位旋第三分量 −1/2 和 +1/2。为了更精细地了解原子核的性质，必须考虑核子本身的内部结构。在对物质结构更深层次的认识上，核子是最轻的重子——一种参与强相互作用的粒子。在夸克结构模型中，核子由三个夸克组成：两个上（u）夸克和一个下（d）夸克构成质子，而两个下夸克和一个上夸克构成中子。核子内部夸克运动规律可用量子色动力学来描述。

（撰写：江栋兴　审订：卢希庭）

hezicheng

核子秤　nuclear scale　带有γ放射源和核探测器，对散装固体物料的质量进行连续自动累计的计量器具（见图）。核子秤由累计指示器和秤体组成。当准直成扇形射线束透过固体物料时被吸收或散射，透过物料的射线被探测，其强度的对数正比于物料的质量厚度（g/cm²），该值与物料通过秤体的速度和物料宽度之积，即为流过秤体的物料质量流量。核子秤为非接触式计量仪表，可用于皮带传输机、刮板传输机和螺旋传输机，具有长期运行精度高、可靠、稳定和维修方便等特点，适于在恶劣条件下工作。主要用于采矿、水泥和化工等行业。一般不作商业结算使用，多用于生产过程控制。

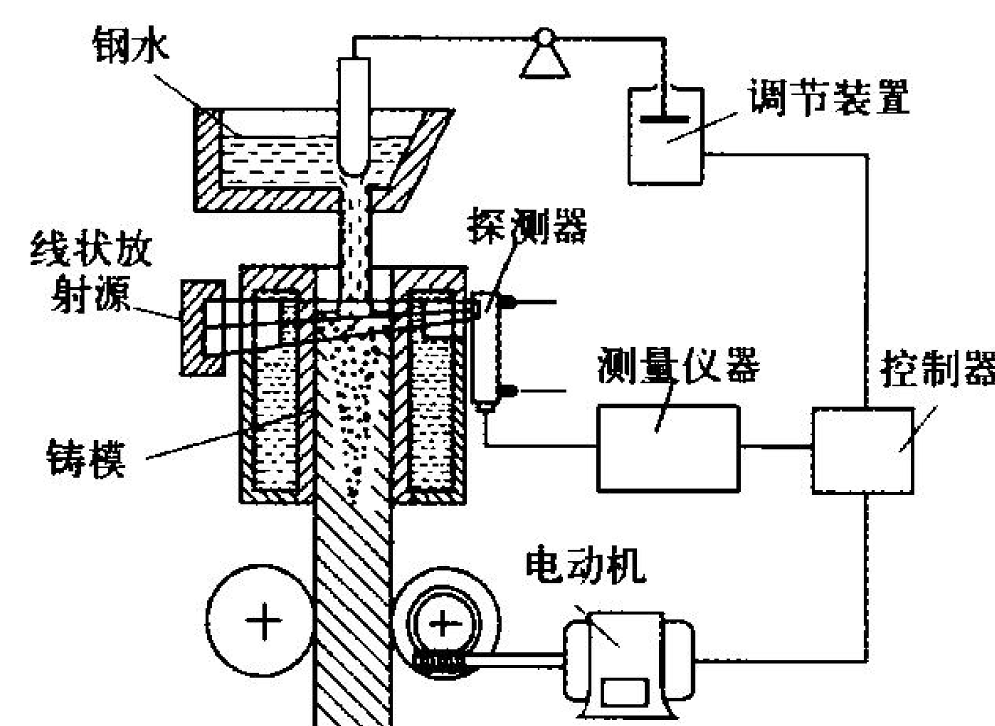


核子秤示意图

（撰写：刘以思　审订：吕延晓）

hezi kongzhi xitong

核子控制系统　nucleonic control system (NCS)　放射性同位素仪表的信息（如密度、料位、厚度、含量和物流累计等）输出，经计算机数据处理实现生产过程闭路反馈，并进行自动监控的一类系统（见图）。核子控制系统通过对物料参数偏差的在线实时控制，可优化生产过程，提高效率，节省能源，降低源材料消耗，保证产品质量。因此核子控制系统在造纸、冶金、轧钢、化工、矿山、建材和食品行业得到广泛的应用。如放射性厚度计与计算机相结合实现纸张、钢板等厚度控制的自动监控系统，以及由核子秤、X 荧光分析仪和计算机组成的水泥生产配料控制系统及钢水的连铸过程控制等。



核子控制系统在连铸过程中的应用示意图

（撰写：刘以思　审订：吕延晓）

hezi midu fenbu

核子密度分布　nucleon density distribution　原子核内质子与中子的分布状况。具体地说，核子密度（单位体积的核子数）是核内各点位置的函数。利用高能电子在核上的散射可以测得核内电荷分布状况，即质子分布状况。通过中子、质子或其他原子核与核的作用可以测得核力作用半径。核力作用半径要比电荷分布半径大一些。这是由于接近核的边界处中子比质子多存在一层所谓中子皮。在原子核中央部分电荷密度和核子密度都接近常量，而且各种核中心部分的核子密度大致相同，约为 0.16 核子 /fm³。在边界附近核子密度逐渐下降，不同核的表面厚度相近。近年来发现，对一些极丰中子核，其少数中子可以远离核中心分布，形成所谓中子晕。显然，对中子晕核，核边缘处的核子密度就很低了。

（撰写：高春媛　审订：卢希庭）

hezixuan

核自旋　nuclear spin　原子核的总角动量，是核内所有核子的自旋角动量和轨道角动量耦合的结果。常用 I 表示核的自旋量子数，它是核自旋在特定 Z 方向上投影的最大值（以 $\hbar$ 为单位）并用以表示核自旋的大小。核自旋可通过原子光谱的超精细结构谱来测定。实验结果表明，对原子核基态的自旋规律为：偶偶核的自旋均为零；奇 A 核（质量数 A 为奇数的核，即中子和质子数中有一个是奇数）的自旋是 $\hbar$ 的半整数倍；奇奇核的自旋是 $\hbar$ 的整数倍。原子核激发态自旋随状态而异。

（撰写：夏宗璜　审订：叶沿林）

hezuandidan

核钻地弹　nuclear earth penetrator　一种能钻入地下一定深度后爆炸的核弹。主要是利用核爆炸所产生的地震冲击波和成坑作用破坏敌方地下指挥所等加固和深埋的军事目标。核钻地弹对地下目标的摧毁效果取决于核爆装置的威力、钻地深度、目标周围的地质条件。而钻地深度又与核钻地弹的重量、头部形状、撞击目标的角度、速度等因素密切相关。一

枚核钻地弹攻击地下目标的效果要比同等威力的地面爆炸强 20～50 倍，而且在空气中所形成的放射性沾染也少得多。核钻地弹需有抗冲击的加固壳体和减震头锥（见图），以避免核装置在高速触地和钻地过程中被损坏，还要求有多功能硬目标引信起爆系统（MASIF），以保证其在达到地下预定深度后适时发生核爆炸。美国曾研制过钻地核炸弹（MK43-O 型等）和核钻地弹（W86）。W86 是一种小直径核钻地弹，是为潘兴Ⅱ导弹研制的，1981 年由于经费问题和潘兴Ⅱ导弹任务的改变而被取消。但钻地弹研究工作一直在进行，20 世纪 80 年代中期在内华达试验场试验过一枚核钻地弹原型。在现部署的核炸弹中，B61-7 的一种改进型 B61-11 是 1997 年开始部署的一种新型钻地核炸弹。


美国钻地核炸弹 MK43 的冲击减震头锥

（撰写：唐信青 竺家亨　审订：王连奎）

hezuozhan jihua

核作战计划　nuclear operation plan　有核国家决策当局为使用核力量而做的精心策划和准备。核作战计划是核战略三个基本构成因素（核威慑政策、核力量发展计划、核作战计划）之一，是各有核国家核战略中最核心、最隐秘的部分。核作战计划通常需要明确三个问题：一是要打击哪些目标；二是针对某一目标选择什么核武器；三是采用什么打击方案。美国的“统一联合作战计划”是具有代表性的核作战计划。“统一联合作战计划”的制定过程包括几个步骤：第一，由总统依据美国的核战略目标确定美国的核武器使用政策，并以“总统决策备忘录”或“总统决策令”的形式下达，文件名称为《核武器使用政策》；第二，由国防部长根据总统指令的要求向参谋长联席会议下达《核武器使用计划》，在《核武器使用计划》中进一步明确核武器使用的设想、打击方案、目标以及目标的毁伤要求；第三，参谋长联席会议在其《联合战略能力计划》将《核武器使用计划》细化为要求由“战略目标联合计划参谋部”具体落实的作战要求和指标。美国的“统一联合作战计划”于 1993 年 7 月批准，1994 年 4 月实施。

（撰写：陈旭舟　审订：唐西生）

heluoping dinglü

赫洛平定律　Khlopin law　前苏联化学家赫洛平提出的有关微量组分在溶液和沉淀间的分配定律。其内容是同晶（即化学组成和分子结构都很相似）共沉淀在晶体和溶液之间达到真正的热力学平衡时，则微量组分（如放射性元素）和常量组分在固相和液相之间的分配比是一常数。以下式表示

$$\frac{x}{y}=D\frac{a-x}{b-y}$$

式中 x、y 分别是微量组分和常量组分进入固相的量；a，b 分别参与同晶共沉淀过程的微量组分和常量组分的原始总量；D 是结晶系数。$D>1$ 时，表示微量组分在结晶固相中得到浓集；$D<1$ 时，表示微量组分在液相中得到浓集；$D=1$ 时，表示微量组分和常量组分的量在固液相中比值相等，微量组分得不到浓集。利用赫洛平定律，可以用分级结晶法来进行放射性元素的分离。

（撰写：罗文宗　审订：崔安智）

hemei youkuangchuang

褐煤铀矿床　lignite uranium deposit　产于由含煤化程度低于亚烟煤级的陆生植物碎屑组成、含同沉积均匀浸染和后生不规则分布吸附态铀的沼泽沉积物中的铀矿床。含铀褐煤的形成年代均晚于泥盆纪，主要发育于侏罗纪、白垩纪和第三纪；铀矿体呈与褐煤层大体整合的似层状、扁透镜体状。矿石的铀品位一般较低（<0.1% U）；单个矿床的铀资源量一般仅为几百吨，个别为几千吨。含铀褐煤矿石常伴有锗。由于提取与有机物结合的铀的水冶工艺复杂，成本高；故此类矿床多为潜在铀资源。

（撰写：陈祖伊　审订：赵凤民）

heiqiangba wuli

黑腔靶物理　hohlraum physics　描述激光与黑腔靶耦合过程的现象和规律的物理。间接驱动惯性约束聚变需要通过黑腔来实现。黑腔物理过程包括激光注入、激光与腔内等离子体相互作用、激光吸收、X 光转换和辐射输运过程。多束激光以一定角度注入腔内，在腔壁处被等离子体吸收，形成光斑。激光在黑腔内壁的主要吸收机制是逆轫致吸收。等离子体吸收激光后温度升高，发生非平衡电离，发射非平衡X光。发射的 X 光在输运过程中经腔壁多次吸收、再发射趋于普朗克谱，并在靶丸周围形成均匀的辐射场，驱动内爆。

（撰写：赖东显　审订：常铁强）

heiseyeyan youkuangchuang

黑色页岩铀矿床　black shale uranium deposit　泛指产于海相富有机质页岩或腐殖酸／富煤含黄铁矿页岩中的铀矿床。铀的成矿作用可以是铀的同沉积期均匀浸染富集，也可是同沉积铀富集叠加造山期后表生和（或）构造—热事件中铀活化再分配的综合结果。产铀黑色页岩的时代范围很宽，但已知矿床产在始寒武纪和古生代沉积内。黑色页岩中的铀资源量巨大，但因铀品位低又不易提取而多为潜在资源。位于德国图林根州的隆奈布尔格矿床是一典型的黑色页岩铀矿床。铀矿体定位于上奥陶统至下泥盆统的黑色页岩系中的断裂构造中，该矿床探明总储量 23.6 万吨，已采出 11 万吨铀，1991 年后已停产闭坑。

（撰写：陈祖伊　审订：赵凤民）

heizhangqu

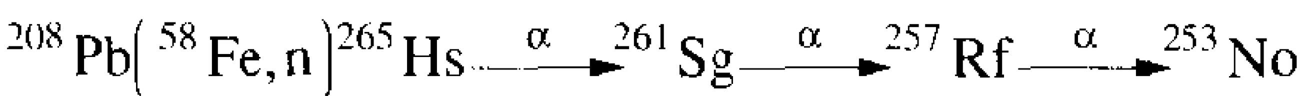
黑障区　blackout zone　高速飞行的弹头再入大气层时，在其周围形成等离子体，使无线电波难以穿透的区段。弹头再入段由于大气阻滞而减速，大气被剧烈摩擦而电离，形成等离子体。在大气层高端因大气稀薄，等离子体密度小；而在大气层低端飞行速率已大为减慢，且因大气过密而带电粒子运动自由程大为缩短，使等离子体吸收电波能量减缓。因而黑障区往往都是将近 10 km 以上的一个区段，且区的高端与载频频率关系密切，低端也与天线在弹头上的安装位置以及弹头飞行的倾角等因素有关。

（撰写：俞大光　审订：王铁铮）

hei

𨭆　hassium　一种人工放射性元素，化学符号 Hs，原子序数 108，属周期系Ⅷ族。因纪念其发现地德国黑森（Hessen）而命名。1984 年联邦德国 G.明岑贝（Munzenborg）等用加速器加速的铁离子（^{58}Fe）轰击铅靶，通过 $^{208}Pb(^{58}Fe,n)^{265}Hs$ 核反应合成了 ^{265}Hs。总共记录了三个 ^{265}Hs 原子，其寿命测定值分别为：24，22，34 ms，并通过测量 ^{265}Hs 的衰变链子体

^{253}No 的方法鉴定了 ^{265}Hs



$$^{208}Pb(^{58}Fe,n)^{265}Hs \xrightarrow{\alpha} {}^{261}Sg \xrightarrow{\alpha} {}^{257}Rf \xrightarrow{\alpha} {}^{253}No$$

（撰写：张志尧　修订：罗文宗　审订：崔安智）

hengbi zhenbieqi

恒比甄别器　constant fraction discriminator　对于形状相同而幅度不同的输入信号，都在信号前沿上升到幅度的某一恒定比值时触发甄别器产生输出信号的定时甄别电路。这种方法可以消除由于信号波形不变而幅度变化引起的时间游动，又可以将相对触发电平选在对波形变化影响最小的某一幅度百分比处，以减小波形变化引起的时间游动。对于探测核辐射的塑料闪烁探测器和光电倍增系统，输出波形虽有变化，但在前沿某一位置有最小时间分散区，所以宜用恒比定时甄别。

（撰写：刘　杰　审订：席德明）

H_2 D_2 HDO DTO tongweisu jiaohuan

$H_2(D_2)$/HDO(DTO) 同位素交换　$H_2(D_2)$/HDO(DTO) isotopic exchange　在氢的同位素分子与氢的同位素水分子（包括混合同位素水分子）之间进行的同位素交换反应。两种不同分子间（或者同种分子内不同位置的原子间）同一元素的同位素间发生的交换反应称为同位素交换，它有以下几种类型：(1) 同位素歧化反应；(2) 简单同位素交换反应；(3) 复杂同位素交换反应。同位素交换反应的特点是反应前后分子数不变，化学组分浓度不变，而且是可逆的。与普通化学反应的主要不同是反应的热效应非常小。$H_2(D_2)$/HDO(DTO) 同位素之间的交换反应，例如：H_2+HDO ⟷ HD+H_2O 和 D_2+DTO ⟷ DT+ D_2O，可以用来生产重水和重水除氚。

（撰写：韩延德　审订：卢浩琳）

hongguan zhongzi jiemian

宏观中子截面　macroscopic neutron cross section　中子通过物质时，在单位长路径上与该物质的原子核发生某种作用的概率。其定义为

$$\Sigma = \sigma N$$

式中 N 为单位体积物质中所含靶原子核的数目；σ 为中子与靶原子核发生某种作用的截面。宏观中子截面的另一含义是：当中子通过物质时对于某特定过程的平均自由程的倒数。常用的宏观中子截面有：宏观散射中子截面、宏观吸收中子截面等。宏观中子截面的标准单位为 m^{-1}。

（撰写：何可学　审订：许谨诚）

hongmaichong he weimaichong

宏脉冲和微脉冲　Macro-pulse and Micro-pulse　某些电子器件，需要工作在双重脉冲状态，窄脉冲外面套着宽脉冲，套在外面的宽脉冲即称为宏脉冲，宽脉冲内部的窄脉冲为微脉冲。微脉冲的宽度可大于、等于也可小于射频周期。

（撰写：罗应雄　审订：王传英）

houchuli chang

后处理厂　reprocessing plant　将辐照过的核燃料与裂变产物化学分离的设施，包括首端处理及有关的贮存和分析工段。目前，世界各国后处理厂普遍采用普雷克斯流程处理各类反应堆乏燃料。普雷克斯流程是以磷酸三丁酯为萃取剂的U–Pu萃取流程，主要包括三步：(1) 拆卸乏燃料，将燃料棒剪切小块；(2) 把小块燃料棒放进热硝酸中溶解，使溶解液澄清并调节酸度；(3) 利用溶剂萃取法使铀、钚和裂变产物分离，一般要经过 2～3 次溶剂萃取循环，才能获得合格的铀、钚产品。

（撰写：金惠民　审订：严叔衡）

houchuli cuiquji

后处理萃取剂　extractant for reprocessing process　后处理萃取工艺所使用的具有萃取铀、钚功能的有机试剂。对后处理萃取剂的主要要求是：(1) 对铀和钚有良好的选择性和足够的萃取能力，并且在一定条件下又能被反萃取；(2) 有较好的热稳定性和化学稳定性，耐辐照；(3) 闪点高，沸点高，挥发性低，无毒或毒性小；(4) 在水中的溶解度小；(5) 易于净化和再生；(6) 价格相对低廉。早期曾经使用过的萃取剂有甲基异丁基酮和二丁基卡必醇，因其不完全具备上述特性而被淘汰。磷酸三丁酯基本具备了上述特性，因而在国内外的后处理厂中被广泛使用。　（撰写：胡景炘　审订：朱永赌）

H

houchuli huishoulü

后处理回收率　recovery ratio in reprocessing　回收率表示两相一次平衡接触（单级萃取）或多次平衡接触（多级萃取）后，某物质在浓集相中的总量与在原始料液中总量的比值。用符号 ρ 表示：

$$\rho = \frac{\text{某物质在浓集相中总量}}{\text{某物质在原始料液中总量}} \times 100\%$$

或

$$\rho = \left(1 - \frac{\text{某物质在残液中总量}}{\text{某物质在原始料液中总量}}\right) \times 100\%$$

式中 $\frac{\text{某物质在残液中总量}}{\text{某物质在原始料液中总量}} \times 100\%$ 即为损（流）失率。回收率可指总的分离过程，也可指其中的单一分离过程。对于萃取分离过程来说，回收率与被提取物质的萃取特性、萃取级数、流比等诸多因素有关，它是乏燃料后处理技术、经济、安全与管理的重要指标。　（撰写：杨祖辉　审订：郑华铃）

houchuli quwu xishu

后处理去污系数　decontamination factor in reprocessing　又称后处理去污因子。后处理去污系数表示产品物流中被提取元素对裂变产物的去除程度。用符号 DF 表示：

$$DF = \frac{\text{原始料液中裂变产物总量（或某个核素总量）/原始料液中被提取元素总量}}{\text{产品物流中裂变产物总量（或某个核素总量）/产品物流中被提取元素总量}}$$

因乏燃料后处理过程铀、钚等被提取元素的收率很高，即

$$\frac{\text{原始料液中被提取元素总量}}{\text{产品物流中被提取元素总量}} \approx 1$$

所以去污系数可以简化为:

$$DF = \frac{\text{原始料液中裂变产物总量(或某个核素总量)}}{\text{产品物流中裂变产物总量(或某个核素总量)}}$$

实际应用中，DF 一般用放射性活度来进行计算：

$$DF = \frac{\text{原始料液中裂变产物总放射性活度（或某个核素总放射性活度）}}{\text{产品物流中裂变产物总放射性活度（或某个核素总放射性活度）}}$$

去污系数可指总的分离过程，也可指其中的一段或单一分离过程；可指总的裂变产物去污，也可指某组或某个核素去污。去污系数也可称净化系数（因子）是乏燃料后处理一项重要工艺指标。（撰写：杨祖辉 审订：郑华铃）

houchuli xishiji

后处理稀释剂 diluent for reprocessing process 为满足后处理萃取工艺的需要，并改善萃取剂物化性能而加入的一种惰性有机溶剂。对后处理稀释剂的主要要求是：(1) 分子为非极性，与萃取剂互溶性好且不溶于水；(2) 具有良好的化学稳定性，不与 HNO_3，HNO_2 等试剂反应；(3) 辐照稳定性好；(4) 闪点高、沸点高、密度小。在普雷克斯流程中理想的稀释剂是正十二烷，但由于其价格昂贵，目前大多数后处理厂采用价格相对低廉的煤油型的碳氢化合物，它们是主要由碳原子数 10～14 的正烷烃组成的混合物，例如：加氢煤油、磺化煤油和无臭煤油等。

（撰写：胡景炘 审订：朱永赌）

H

houchuli zaixian fenxi

后处理在线分析 online analysis for reprocessing 后处理工艺控制分析的一种方法。它与实验室取样分析不同。在线分析装置是直接安装在工艺容器或工艺物流管道上，或安装在从工艺物流管道引出的旁路上。在线分析采用化学或物理方法，及时快速地显示工艺检测参数，及时发现和判断工艺过程异常现象，对后处理厂运行有很好的监控作用。在线分析方法目前主要有 γ 吸收法、X 射线吸收法、比色分析法、电导法、电导密度法、流动注射法、X 荧光法、玻璃闪烁体 α 计数法、吹气密度法等。

（撰写：杨鑫荣 审订：郑华铃）

HT 7 chaodao tuokamake

HT-7 超导托卡马克 HT-7 superconducting Tokamak HT-7 超导托卡马克是由俄罗斯库尔恰托夫研究所的工程试验装置 T-7 超导托卡马克经重新设计改进而成的我国第一个、世界第 4 个超导托卡马克装置（见图）。该装置的构成为：(1) 用于约束等离子体的沿环（纵）向的磁场；(2) 等离子体电流产生的极向磁场；(3) 控制等离子体平衡的垂直磁场，组成了呈环状内部闭合的托卡马克磁场位形，其中，用于产生纵向磁场的线圈是超导的。主要参数是：环向大半径 1.22 m，极向小半径 0.28 m，最大纵向磁场强度 2.5 T，最大等离子体电流 250 kA。它的主要任务是研究与长脉冲和稳态托卡马克运行相关的物理和工程技术问题。



我国 HT-7 超导托卡马克装置外观

（撰写：万宝年 审订：钱尚介）

huxidai quyang

呼吸带取样 breathing zone air sampling 空气取样头保持在工作人员口、鼻附近的空间内所完成的取样。由于操作人员在进行规定的操作时，是从该空间将空气吸入体内的，因此在这种空间内所采集的空气样品能代表被操作人员所吸入空气的特性。进行呼吸带取样的理想方法是采用所谓个人取样器（或称衣领取样器）的方法来实现。个人取样器一般包括由电池驱动的微型气泵、流量控制或测量器，以及一个装有取样介质的空气取样头。整个装置体积小，重量轻，主体可以放在口袋内；取样头可以佩戴在衣领上，电池容量保证至少可以连续工作一个工作日。

（撰写：夏益华 审订：胡遵素）

huxiqi

呼吸器 respirator 为防止放射性气溶胶及其他尘毒经呼吸道进入体内，危害工作人员身体健康，在口鼻或整个头部佩戴的过滤、净化或供氧装置（见图）。由于操作条件及工艺设备所限，处理辐射事故和操作剧毒物质人员及在狭小舱室内作业人员都应注意呼吸器官防护，防止放射内污染事故、职业中毒和窒息死亡事件的发生。呼吸器种类繁多，按用途可分为防放射性气溶胶、防尘、防毒及供氧四类；按作用原理可分为过滤式（净化式）及隔离式（供气式）两类。过滤式呼吸器只能用于防气溶胶、毒。而隔离式尚可用于缺氧工作环境。选用呼吸保护器的原则为：防护有效、戴用舒适及与工作时间相匹配，在此基础上尽量做到经济合理。除了良好的设计外，还必须要有对佩带者的正规培训，使其了解什么时候使用、如何使用，以及使用的局限性。此外，定期清洗和在适当的周期内由合格人员采用合格的设备进行性能检查也是很重要的。（撰写：高增林 审订：张廷生）



防毒呼吸器

huagangyanxing youkuangchuang

花岗岩型铀矿床 granite type uranium deposit 产于花岗岩体内、岩体外接触带沉积岩和变质岩以及岩体上叠沉积盆地中的、成因上与花岗岩有联系、矿化类型上相似的铀矿床。与铀矿床有成因联系的花岗岩体多为陆壳重熔型，成分上富硅富碱和铝过饱和，铀含量高（一般超过 8×10^{-6}），岩浆演化较完善，酸性和中基性脉岩较发育，时代上主要为海西期（欧洲）和燕山期（中国）。矿体多定位于各种断裂构造中，呈脉状、细脉浸染状、角砾岩状。主要铀矿物为沥青铀矿，少数为铀石和钛铀矿。共生的脉石矿物有（微晶）石英、萤石、水云母、碳酸盐等。围岩蚀变有硅化、赤铁矿化、水云母化、绿泥石化、钠（钾）长石化等。矿石品位一般为 0.1%～0.3%，单个矿床的规模一般为几百吨至 3～5 千吨，大者可达数万吨。产出花岗岩型铀矿的主要国家有中国、法国、捷克、德国等。

（撰写：陈祖伊 审订：赵凤民）

huaxiang

滑相 phase slip 在回旋加速器中，粒子的回转周期为：

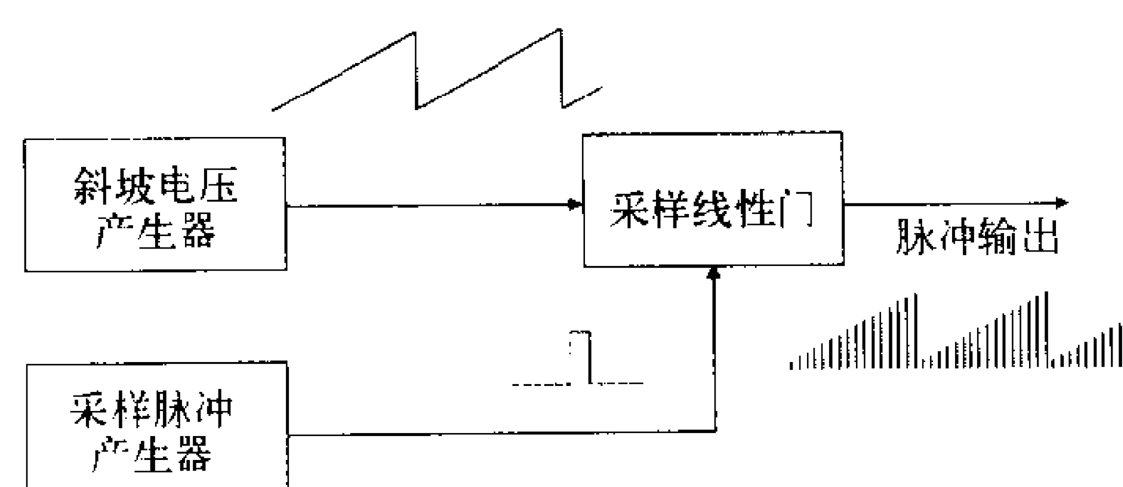
$$T = \frac{2\pi m}{qB} = \frac{2\pi \gamma m_0}{qB}$$

式中 m_0 为静止质量，γ 为相对论系数，B 为磁感应强度，q 代表电荷。在经典回旋加速器中，由于粒子轴向聚焦条件的要求，磁场的径向分布随着半径的增加而减少。一方面是粒子能量的不断增大，一方面是磁场 B 的不断减少，于是周期 T 将不断增大。粒子每转一圈，与周期的增量 ΔT 相应的相位变化为 $\Delta\phi=\omega\Delta T$，其中 ω 是高频电场的角频率。这种使得粒子的回旋运动与高频电场的周期变化失去同步，并使粒子的加速相位朝着滞后的方向滑动的现象，称为滑相。

（撰写：关遐令　审订：王传英）

huayimaichong chanshengqi

滑移脉冲产生器　sliding pulse generator　一种周期性地产生幅度线性变化的脉冲的电子装置。它的工作原理如图所示。斜坡电压产生器周期性地输出随时间直线增长的斜坡电压，



滑移脉冲产生器框图

这个斜坡电压被送到采样门的输入端，采样脉冲产生器将采样脉冲送到采样线性门的控制端。采样线性门在采样脉冲的宽度期间被导通，对斜坡电压进行采样。这样在采样线性门的输出端形成的脉冲幅度决定于斜坡电压被采样时的瞬间值。其输出幅度随时间直线增长，而频率与采样脉冲的频率相同。滑移脉冲产生器主要用于测量多道脉冲幅度分析器的非线性、道漂移，也可以用来测量单道分析器的阈值线性和阈值、道宽的漂移。它的主要技术性能是输出脉冲幅度变化的线性、稳定性，输出脉冲频率的稳定性等。

（撰写：李君利　曾　志　审订：席德明）

huahewu bandaoti tanceqi

化合物半导体探测器　compound semiconductor detector　用具有高原子序数、低净杂质浓度和宽的禁带宽度的化合物半导体单晶制成的探测器。它们的基本特点是：具有较高的探测效率、较高的能量分辨率和可在室温下工作。有时也将该类探测器叫做室温半导体探测器。化合物半导体探测器出现于 20 世纪 60 年代末，先后对 10 多种化合物半导体材料进行了研究和评估，最终已制成较好探测器并得到应用的有 CdTe，GaAs，HgI_2 和 $Cd_{1-x}Zn_xTe$(CZT) 探测器。化合物半导体晶体由于陷获长度较小（毫米量级），而硅和锗有米量级，以及化合物晶体生长技术难度更大，所以，制成的探测器的灵敏体积均很小，其应用限于在低能 X 射线和 γ 射线的探测。它们的能量分辨率远比闪烁探测器好，但不及硅和 Ge(HP) 探测器；它们可以构成十分轻便的便携式仪器，在环境、现场监测及核医学等方面有较好的应用。　（撰写：吴绍云　审订：王征华）

huatan yichang de jieshi

化探异常的解释　interpretation of geochemical anomaly; geochemical anomaly interpretation　对工作区有关元素地球化学场的晕圈或异常作出评价（含区分真晕与假晕、真假异常），解释其产生的原因，研究其分布规律与解决地质任务的关系。化探异常解释的原则是：(1) 以地质为依据，掌握工作区地质与成矿特征，地表覆盖层、气候、地形地貌及植被发育特征，以及铀（和相应元素）地球化学特征和它们对形成化探异常的关系及影响，是正确解释的基础；(2) 从已知到未知、分析已知区地表、浅部显示的化探晕圈、异常与地质条件的规律性关系，类比推向地质、地球化学条件相似的未知区及深部；(3) 综合解释，化探异常的多解性要求必须同时参考其他方法测量成果，以增加解释的可信度和准确性。

（撰写：蒋永一　审订：李家俊）

huaxue buchang kongzhi

化学补偿控制　chemical shimming control　在反应堆冷却剂中或液体慢化剂中加入吸收中子的化学物质（如硼酸）以控制反应性的方法。这种化学毒物应具有较大的中子吸收截面及稳定的化学、物理性能。硼酸溶液是目前压水堆核电厂广泛采用的化学毒物，它主要用来补偿缓慢变化的反应性，如反应堆从冷态到热态的反应性变化，燃料燃耗和氙中毒引起的反应性变化。与其他反应性控制方法相比，化学补偿控制的主要优点是硼酸均匀分布在堆芯，不会引起堆芯功率分布畸变，有利于展平功率分布，从而提高反应堆的安全性。但是随着冷却剂中硼浓度的增加，慢化剂温度系数（绝对值）变小。当硼浓度超过某一值时，可能导致出现正慢化剂温度系数，在反应堆设计和运行中必须避免这种情况。

（撰写：章宗耀　审订：卜永熙）

huaxue chanlü

化学产率　chemical yield　对放射性核素进行放化分析时，分离纯化后得到的载体量与分析开始时加入的载体量之比，以质量分数表示。在同位素交换完全的情况下，被测放射性核素的回收率与化学产率相同。因此，放化分离纯化过程中放射性核素的损失可以靠化学产率进行校正。

（撰写：郭景儒　审订：崔安智）

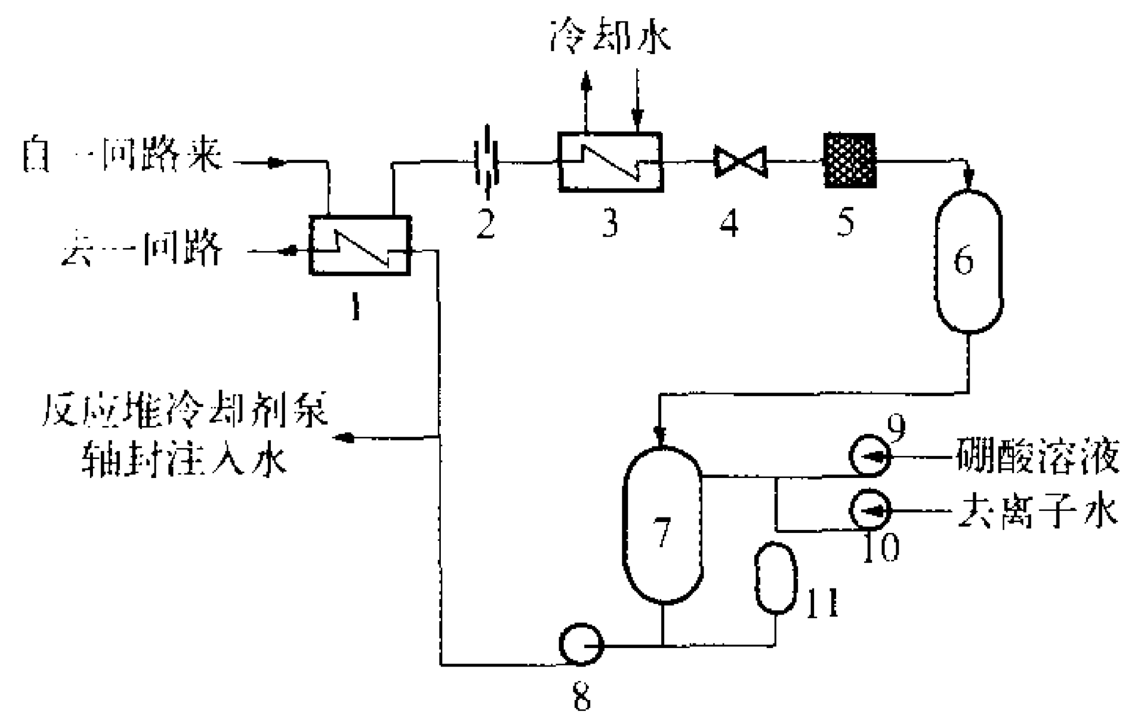
huaxue hecheng biaoji

化学合成标记　chemosynthesis labelling　以某种核素的简单化合物为原料，通过化学反应合成含有该核素的标记化合物。化学合成标记是利用化学反应原理，将核素通过化学合成引入到需要的标记化合物中。整个化学合成过程大体上分成两步：(1) 以简单的化合物为初始原料制成中间化合物；(2) 由中间化合物通过一系列化学反应合成所需要的标记化合物。例如，以 $Ba^{14}CO_3$ 为原料，通过化学反应可以制得 $^{14}CO_2$，$Na^{14}CN$，^{14}C- 羧酸和 $^{14}CH_3I$ 等中间化合物；这些中间化合物再经一系列化学反应，通过增长有机化合物的碳链或环化等方法合成各种 ^{14}C- 标记化合物。化学合成标记法是制备 ^{3}H，^{14}C，^{32}P，^{35}S，^{125}I，$^{99}Tc^{m}$ 等核素标记化合物最重要和最常用的方法。其优点是反应易于控制，可根据需要制备定位的标记化合物，产品纯度高；缺点是制备复杂标记化合物时，步骤多，流程长，产额较低。　（撰写：卢玉楷　审订：吕延晓）

huaxue he rongji kongzhi xitong

化学和容积控制系统　chemical and volume control system　压水堆核电厂中为调节反应堆冷却剂中硼的浓度以补偿缓慢变化的反应性、为补充和保持反应堆冷却剂压力边界内的冷却剂装量以及为连续净化反应堆冷却剂而设置的系统。它从反应堆冷却剂系统中引出一定量的冷却剂（下泄流），经降温、

降压、过滤和树脂净化后再返回反应堆冷却剂系统（上充流），并提供主泵的轴封注水（见图）。系统利用硼酸泵、除盐水泵、容积控制箱和化学物添加箱向反应堆冷却剂系统补充所需硼浓度的补给水，以及如联氨和氢氧化锂等化学物质。在有些压水堆核电厂中还将硼回收系统和硼热再生系统也归入本系统。



化学和容积控制系统流程原理图

1，3—热交换器；2，4—降压装置；5—过滤器；6—树脂床；7—容积控制箱；8—上充泵；9—硼酸泵；10—除盐水泵；11—化学物添加箱

（撰写：戚正文　审订：张维忠）

huaxue jiliangji

化学剂量计　chemical dosimeter　将含有稀溶质的溶液密封在辐照容器内制成的一类剂量计总称，用于测定电离辐射引起的某一介质的吸收剂量。化学剂量计都是二级剂量计，测出的是平均吸收剂量，使用前必须确定所测量的变化（即响应）与吸收剂量间的定量关系。一种理想的化学剂量计应满足4项要求：化学变化的量与吸收剂量应具有确定的关系；响应与LET及剂量率无关；响应对环境如温度、杂质、pH值的影响不敏感；辐射引起的化学变化可定量测量，方法简单。常见的化学剂量计有硫酸亚铁剂量计、硫酸铈剂量计、高水平硫酸亚铁剂量计、草酸剂量计等，其中应用最为广泛的是硫酸亚铁剂量计。

（撰写：包华影　陈云东　审订：吕廷晓　丁声耀）

huaxue quqiao

化学去壳　chemical decladding　用化学方法去除乏燃料元件包壳的过程。例如，用 $NaOH+NaNO_3$ 混合碱溶解生产堆乏燃料的Al包壳，剩下的铀芯再用硝酸溶解。化学去壳方法的优点是：首端简单，溶解包壳和溶解铀芯在同一台溶解器中进行；缺点是：溶壳产生大量的放射性废液，增加了放射性废液处理处置费用。　（撰写：林懋贞　审订：郑华铃）

huaxue quwu

化学去污　chemical decontamination　用化学方法去除或降低物体表面放射性污染的过程。化学去污的优点是可用于难以接近的污染表面的去污，既可用于初步去污也可用于深度去污；所需的工作时间少，能就地去污和进行遥控操作；产生的气载有害物少；去污剂经处理后可复用。缺点是对多孔表面的去污效果差；产生废物体积大；操作不当会引起腐蚀和安全问题；某些部位还需考虑临界安全问题。常用的去污剂有酸、碱、氧化剂、还原剂、络合剂、缓蚀剂和表面活性剂，它们既可单独使用也可几种组合使用。就其浓度而言可分为浓溶液法和稀溶液法，其浓度范围质量分数分别为5%～15%和0.05%～1%。从去污操作上，可分一步法和多步法。　（撰写：王显德　审订：孙东辉）

huaxue tiaozhi

化学调制　chemical adjustment　根据后续处理工艺过程的需要对料液进行调节或预处理的化学操作。在放射性废液处理中，化学调制可以减少需要进一步处理或处置的废液种类和数量；降低或消除废物的物理、化学、生物学和放射学特性所引起的某些潜在危害或影响。最常用的化学调制包括：调节pH值、改变物质的化学价态或形式、脱气、曝气、脱水干燥、矿化、抑制沉淀、缓蚀、防腐、防垢、灭菌和除去有机物等。pH值的调节包括酸、碱液流相互混合的中和作用、添加化学试剂调节pH值或酸、碱度等。混合放化成分相近的酸性和碱性废液可以节省化学试制，减少需要处理的废液种类和数量。调节废液的pH值可以减少蒸发过程的腐蚀和泡沫。经过处理后的废水，要求调节到中性才能排入环境。添加化学药剂可以除气，如压水堆核电厂蒸汽发生器的给水用联氨除氧可不增加水中含盐量。化学污泥脱水前加入药剂可使水析出并易于脱水。用磷酸盐絮凝沉淀法处理低放废液时，加钙矿化，可以提高净化效果。在料液中添加缓蚀剂或钝化剂可以抑制和阻止设备受腐蚀。用膜分离法处理低放废液时，加入杀生物药剂、氧化剂和清洗剂可以防止菌类和藻类繁殖等，都是非常重要的化学调制。

（撰写：骆大星　审订：孙明生）

huaxue wendingxing

化学稳定性　chemical stability　废物固化体承受化学作用，如腐蚀、溶解和相变等各种影响的能力。固化体可能经受到的化学侵蚀主要来自地下水，这也是固化体内有害核素进入人类生活环境最重要的途径。尽管废物处置设置了多重人工隔离屏障，但是要在固化体内放射性核素衰变到无害水平所需的长时间里，不使地下水与固化体接触几乎是不可能的。因此化学稳定性是废物固化体首要考虑的特性。影响固化体化学稳定性的因素很多，除了固化体类型外，主要是固化体组成及固化工艺。现在常用的几类固化体中，玻璃固化体的化学稳定性较好，水泥固化体的化学稳定性较差。人造岩石固化体有最好的化学稳定性，但人造岩石固化仍在开发研究阶段，尚未实际应用。

（撰写：汤宝龙　审订：罗上庚）

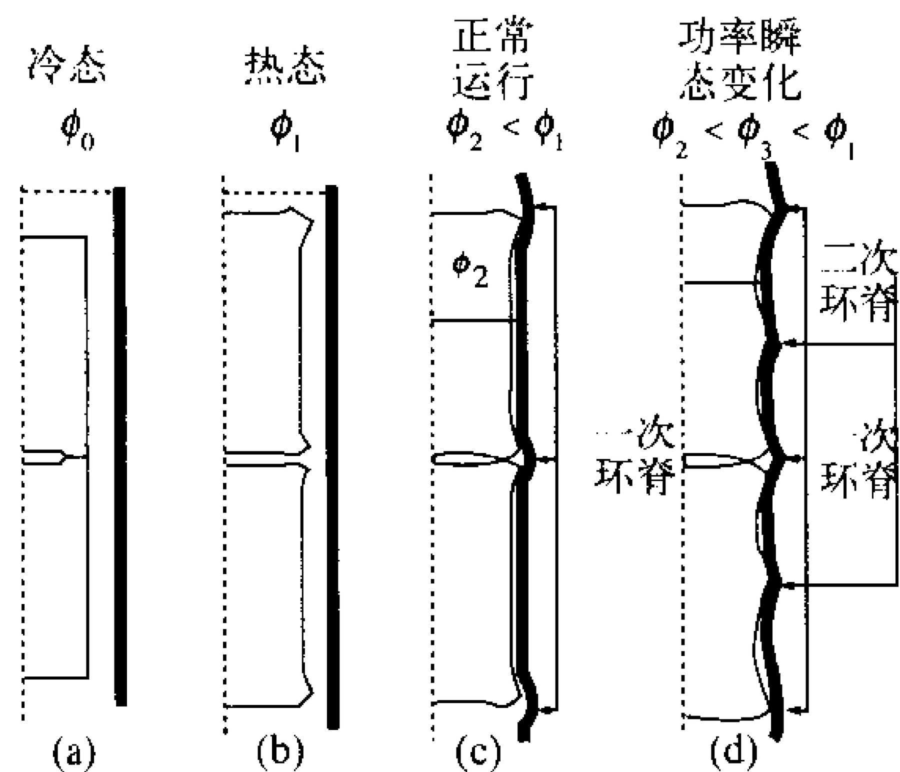
huanyuanzhi

还原值　reduction value　在萃取稀释剂中含有还原物质的量。在 H_2SO_4（2 mol/L）介质中，用 $KMnO_4$ 滴定，每升稀释剂所消耗的 $KMnO_4$ 摩尔数称为稀释剂的还原值，它是衡量稀释剂稳定性的指标之一。

（撰写：张琴芬　审订：朱永𬀩）

huanji

环脊　circumferential ridging　在反应堆温度场中，燃料芯块的上下"自由"端面周边径向变形较大，挤压包壳，造成包壳在对应于芯块端面部位出现竹节状的局部隆起（见图）。一次环脊高度约为10～20 μm。环脊部位是挥发性裂变产物较易集中，包壳较易发生应力腐蚀开裂的区域。二次环脊在功率跃增后出现在芯块的中央截面处，其高度与功率跃增幅度有关。二次环脊的形成，是因为多次功率跃增造成芯块轴向和周向开裂，开裂后，中央截面变形状态类似于自由表面。二次环脊在动力堆实际运行中往往不明显，因为出现一次环脊后芯块碎裂及蠕变使包壳应力（应变）得到松弛。



辐照过程中芯块与包壳之间的间隙变化和环脊的形成图
(a) 辐照开始 (b) 第一循环和第二循环开始 (c) 第二循环后半期芯块与包壳开始接触，一次环脊出现 (d) 多次功率瞬变，出现二次环脊
图出处：Bailly E H. The Nuclear Fuels of PWRs and FRs Design & Behavior. Paris:Lavoisier Pub.Inc.1999.

（撰写：张忠岳　审订：黄玉才）

huanjing anquan xukezheng zhidu

环境安全许可证制度　licensing system for environmental safety　与核和辐射有关的设施或项目的营运需经申请、审查、评价、批准和监督的一种管理体制。许可制度是一种普遍性的管理制度，在与核和辐射有关的行业许可制度只是更为严格。申请指业主向审管部门的请示行为，审查、评价和批准是审管部门的行为。批准后审管部门有权对其许可证持有单位进行监督检查，如发现违反许可条件，审管部门有权给予许可证持有者处罚，包括取消许可等。依据辐射设施的规模和性质，许可制度包括发放许可证，颁布许可文件，以及对报告及注册的认可等。对于像核电厂这样大型核设施，它的安全许可实际上包含设施的核安全和环境安全两个方面的认可，即要经两个报告书：安全分析报告书和环境影响报告书都通过后，方可颁发许可证。许可是有条件的，许可证持有者要认真遵守所有的许可条件，且不可把许可证视为简单的通行证。只有认真执行许可条件，设施或项目的安全性才有保证。为了有效执行许可制度，审管部门要派监督员定期或不定期驻厂检查，这些监督员要与业主保持相对独立性（参见核安全许可证制度）。（撰写：赵亚民　审订：潘自强）

huanjing bendi diaocha

环境本底调查　environmental background survey　在新建核设施投料或装料运行之前，或在某项核实践开始之前，对特定区域的环境本底放射性进行的系统调查。环境本底调查的核素类型除天然放射性核素外应与核设施运行可能释放到环境中的放射性核素类型相同。调查的目的在于获取核设施运行前已经存在于环境中的放射性核素或辐射水平的数据，作为核设施运行后评估环境质量的基础数据。环境本底调查的范围取决于核设施的类型和规模，以核设施为中心，半径可以小于 1 km，也可以大于 30 km；调查的内容主要包括环境辐射水平，环境介质中放射性核素的含量；介质的选择则与当地居民的食物链相关，例如粮食、禽类、鱼类、贝类、蔬菜、地表水等，同时也要优先选择那些容易富积放射性核素的动植物作为标识物样品。环境本底调查方案的统计设计除考虑上述内容外，还应考虑当地人口及分布，地理环境，水文地质，气象条件，测量及采样的代表性，采样和分析测量方法，质量保证措施等。

（撰写：黄治俭　审订：赵亚民）

huanjing chuzhi

环境处置　disposal in environment　放射性废物在严密的监督和控制下进入环境，并在环境中经过自身衰变最终达到无害化，而在此期间各代人受到的辐射影响可以小到可以忽略不计的全过程。环境处置有两种方式：一种是稀释和弥散、另一种是滞留和衰变。放射性废气和废液经过净化处理后、经审管部门批准并在监控条件下排入环境，属于稀释和弥散。对稀释和弥散处置的废物有严格的限制，对受纳废物的环境条件要求也十分严格。对于放射性固体废物，则采取滞留与衰变的办法在环境中处置。对于低中放废物，可采用近地表处置。对高放废物需深地质处置，待废物中的放射性核素迁移到人类生活环境之前，它已衰变到了无害程度。放射性废物环境处置是一项技术性强、政策性强的环境安全工程，必须进行仔细的科学论证，严格审批，要确保安全。

（撰写：赵亚民　审订：罗上庚）

huanjing fangshexing liudong jiance

环境放射性流动监测　mobile monitoring　又称流动实验室，是利用配置有各种测量仪器和采样设备的专用车，对某一局部地区的环境放射性就地进行取样和测量。车载仪器主要包括高气压电离室或闪烁剂量率仪，就地 γ 谱仪，α，β 测量装置或简易液闪计数器，便携式辐射剂量仪和 α，β，γ 表面污染监测仪等。采样设备主要有放射性气溶胶快速取样器，气载碘和氚取样器，以及用以采集土壤、地表水、动、植物等环境介质样品的采样工具和收集容器。有的流动实验室除上述取样监测车外，甚至还包括一辆配置齐全的放化分析专用车。它可以及时报出地面上的辐射水平和分布，污染放射性核素类型，及对局部地区大气、土壤、水体等环境介质的污染状况。环境放射性的流动监测，在各种目的环境放射性本底调查，核设施事故应急环境监测，以及在核设施去污退役工程中的场地普查和场地恢复后的验收监测中都有广泛的应用。（撰写：杨怀元　审订：赵亚民）

huanjing fushe jiance

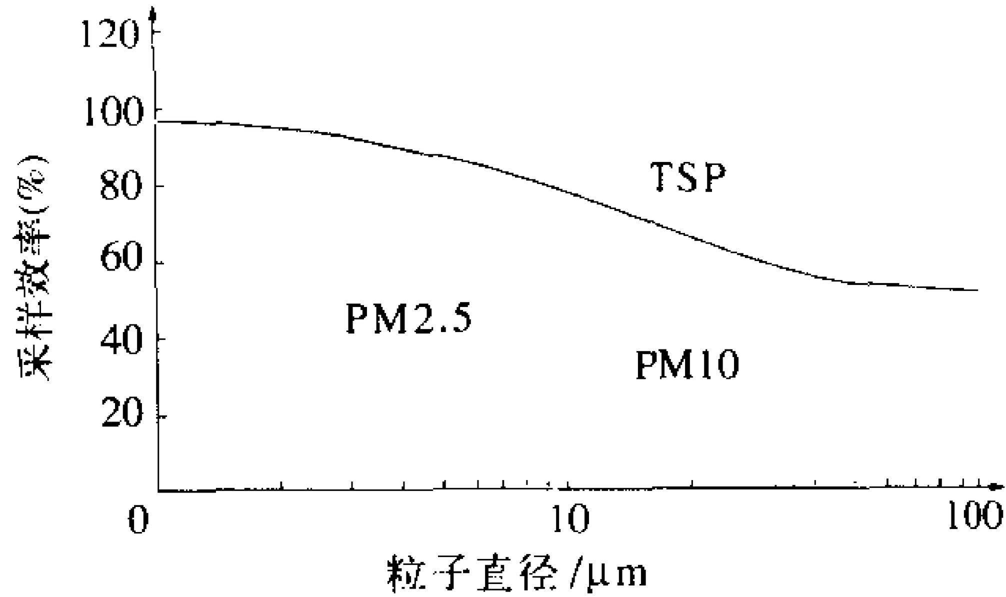
环境辐射监测　environmental radiation monitoring　为了评价和控制核设施对周围环境和居民产生的辐射影响，对设施周边环境中的辐射水平和环境介质、生物样品中的放射性浓度所进行监视性测量。环境辐射监测包括对特定辐射源和一般环境质量的监测。环境辐射监测应按国家或地方主管部门颁布的有关辐射防护规定的各项要求，以及辐射防护最优化原则组织进行。其规模、内容和要求应视设施的规模、性质和环境特征而异。环境辐射监测的目的包括评价控制放射性物质向环境释放用的设施是否运行正常；估算对公众造成的现有照射和潜在照射的大小，或估定这种照射所可能达到的上限，验证环境评价模式；观察环境辐射水平的变化或趋势；确定必要的应急对策等。环境辐射监测涉及的内容是十分广泛的，它包括照射水平的直接测量、重要环境介质以及和核设施释放核素有关的指示介质或生物样品中的放射性物质浓度的测定（例如空气和沉积物、水和沉积物、土壤、食物、牛奶、陆生生物群、水生生物群等）。环境辐射监测与流出物监测是密切相关的。环境辐射监测过程一般包括取样、样品制备、测量或分析、结果评价等几个步骤。为了保证环境辐射监测工作的质量，就必须在工作的各个阶段建立相应的质量保证计划。由于公众对核设施的关注，除业主对设施进行环境辐射监测之外，

地方政府往往还独立行使监督性监测。

（撰写：夏益华　杨怀远　审订：潘自强　赵亚民）

huanjing qirongjiao celiang

环境气溶胶测量 measurement of environmental aerosol　大气中载带的固体或液体微小颗粒称为气溶胶，其中含有放射性的称为放射性气溶胶。本条是指对环境放射性气溶胶的取



环境气溶胶测量的采样标准曲线

TSP—总悬浮微粒物；PM 10—粒径≤ 10 μm的可吸入微颗粒物；PM 2.5—粒径≤ 2.5 μm的细微颗粒物

样、分析以及对测量结果的说明。环境中放射性气溶胶来自核设施的气载流出物，核试验落下灰的再悬浮，以及空气中的天然放射性等。针对核设施的环境气溶胶测量的目的是判定该设施对公众的影响；在远离核设施地方进行气溶胶测量，目的是检验环境质量。对于气溶胶的取样多是用泵抽使气溶胶吸附在滤材上；为获得有代表性的样品，要注意防止尾流的影响，要防止流量随抽气的变化。对样品的测量分析要依据不同的监测对象选取最适宜的方法，并要注意天然放射性的干扰。气溶胶可随呼吸进入体内，引起内照射。可否进入体内及进入体内的份额与气溶胶的粒度密切相关。因此，对环境气溶胶测量必须关注粒度分布，在给出测量结果时必须同时注明所测气溶胶的粒度情况。

（撰写：卢正永　审订：赵亚民）

huanjing shengwu yangpin jiance

环境生物样品监测 environmental biological sample monitoring　对生物机体、组织以及排出物中的放射性水平与转移特性的监测。环境生物样品监测主要是采集与公众食物链相关的或对特定放射性核素有富集作用的动植物样品分析测量，以确定核设施运行或核操作释放出的放射性核素在环境中的转移途径和规律，并估算公众可能受到的剂量。对于接触放射性操作并可能摄入放射性核素的工作人员，生物样品监测是定期收集工作人员的排泄物进行分析测量以估算所受剂量；在核事故情况下，如果有关人员摄入了超剂量放射性核素，生物样品监测可确认促排或治疗效果。

（撰写：黄治俭　审订：赵亚民）

huanjing zhaoshe jiliangxue

环境照射剂量学 dosimetry for environmental exposure　估算生物体的剂量率和积分剂量，对评价环境中污染的放射性核素的潜在影响或实际影响都是最重要的。在辐射平衡的状态下，生物体的吸收剂量在数值上与此点上的组织比释动能相等。对大生物体内某些深部的器官和组织而言，需要考虑几何条件的影响。由于植物或动物组织的总吸收剂量率中存在有α粒子的成分，这就提出了一个如何估算这一辐射类型（辐射品质）在造成生物损伤时的可能的较大效应的问题。对α辐射来说，由实验确定的相对生物效应（RBE）给出了用于人类辐射防护目的辐射权重因子的建议值为20。但在野生生物体的情况下，确定性效应可能是最有意义的，对α辐射来说，动物实验表明数值大约为5的较低的权重因子可能更合适；对β辐射和γ辐射来说，其权重因子仍为1。虽然现在尚缺少确定的实验数据，但通常假设这些权重因子对植物的效应也是适用的。必须指出，以希沃特（Sv）为单位的各种当量剂量的量是专用于人类辐射防护的。由于缺少研究用于非人类生物体的相对应的剂量学概念和量，现在通常采用吸收剂量表述。吸收剂量仍保留焦尔每千克（$J \cdot kg^{-1}$）为单位，专用单位名称仍为戈瑞（Gy）。

（撰写：潘自强）

huanjing zhengzhi huifu

环境整治（恢复） environmental remediation (rehabilitation)　与核和辐射有关的开发活动使环境条件发生改变，受到放射性污染，或地貌受到破坏的，采取措施清除放射性废物，对设备进行去污，修复地貌，恢复植被等复原、补救行动。对于遗留问题，这种整治（恢复）属于干预范畴。对于新的与核和辐射有关的活动，要把未来的这类环境整治（恢复）工作纳入现有的实践中去，也即到了设施运行寿期，该退役时就按计划和预留资金进行环境整治（恢复）。环境整治（恢复）是环境管理的一个重要方面。一些国家已计划拨巨款对其军工遗留问题进行治理。环境整治（恢复）要着眼于长期环境安全性，一切整治项目都要考虑长期稳定性。考虑到工程项目长时期安全的不确定性以及风雨等自然因素的损毁，对于有些环境整治（恢复）项目须安排长期监护。

（撰写：赵亚民　审订：潘自强）

huanchongqu

缓冲区 buffer zone　在核设施（如废物处置场）周围设置的一个控制区，以确保该设施与公众使用的或接近的场所之间有足够的距离。缓冲区是核设施在运行工况下为防止和（或）减少公众受到不可接受照射所采取的必要措施。废物处置场的缓冲区在处置场关闭前主要为废物可能发生的由于包装容器破损引起的污染扩散，以空间距离方式提供的隔离屏障；处置场关闭后则为被地表水渗入淋滤和地下水浸泡后释出的少量放射性核素提供阻滞屏障。在缓冲区内通常设置监测井，以监视处置场是否有放射性物质释出。

（撰写：黄雅文　审订：陈　式）

huanfa zhongzi

缓发中子 delayed neutron　见裂变中子。

huanfa zhongzi fen'e

缓发中子份额 delayed neutron fraction　每次裂变产生的缓发中子的平均数与每次裂变产生的全部中子（瞬发中子加缓发中子）的平均数之比。缓发中子是一些裂变产物在β衰变过程中发出的。实验数据表明，存在着半衰期大致为55 s，22 s，6 s，2 s，0.5 s和0.2 s的6个缓发中子组。热中子引起核素^{233}U，^{235}U，^{239}Pu裂变和^{252}Cf自发裂变的缓发中子份额分别为0.26%，0.65%，0.21%和0.23%。缓发中子虽然比例很小，但实际应用意义重大。核反应堆设计成只有包括缓发中子的贡献时才达到超临界，从而使其功率增长周期长达10 s以上，使反应堆的控制变得可行。研究缓发中子发射能为丰中子核的结合能和核结构提供信息。缓发中子计数是一种灵敏的矿石含铀量的分析方法。（撰写：韩洪银　审订：张焕乔）

huanshu

幻数 magic number 当原子核的质子数或中子数为 2，8，20，28，50，82 以及中子数为 126 时，原子核特别稳定，这些数被称为幻数。中子数或质子数等于幻数的核称为幻核，中子数和质子数都等于幻数的核称为双幻核，如 ^{4}He，^{16}O，^{40}Ca，^{48}Ca，^{208}Pb 等。原子核中幻数的存在可以用原子核的壳层模型 (Shell Model) 来解释。壳层模型假定原子核中每个核子都在其他核子对它的作用所产生的平均场中独立运动。1949 年，迈耶和延森等提出在这个平均场中存在强的自旋轨道相互作用，圆满地解释了实验上观测到的幻数。到目前为止，实验上可以肯定的最大的质子幻数和中子幻数分别为 82 和 126，理论模型给出的下一个质子幻数在 114 和 126 之间，下一个中子幻数在 184 附近。

（撰写：周善贵　审订：卢希庭）

huanliao lengtingdui

换料冷停堆 refuelling cool shutdown 反应堆为进行堆芯燃料更换操作的一种深度次临界的冷停堆状态。以压水堆为例，在换料停堆状态下，所有控制棒全部插入堆芯，冷却剂硼浓度达到最大值，以保证一定停堆深度，一回路完全开启并处于大气压力下，冷却剂温度由余热排出系统控制在 10～60℃之间。（撰写：宫广臣　审订：钱锦辉）

huanliao zhouqi

换料周期 refuelling period 又称循环长度 (cycle length)、运行周期。定期换料的反应堆相邻两次更换核燃料所间隔的时间。核电厂通常有两种换料方式：连续换料和定期换料。连续换料是指在功率运行的条件下，卸出乏燃料和补充新燃料。压力管式重水堆和球床高温气冷堆属此种换料方式。定期换料是指在冷停堆的工况下才能卸出乏燃料，补充新燃料。在停堆换料的同时进行大修。压水堆和沸水堆都属于定期换料的反应堆。压水堆每次大约更换总数 1/4～1/2 的核燃料，换料周期通常为 12 个月。较长的换料周期 (例如 18 个月或 24 个月换料) 可以提高核电厂负荷因子，增加经济效益 (参见堆芯燃料管理、堆芯寿期)。（撰写：姚增华　审订：钱锦辉）

huangbing

黄饼 yellow cake 以重铀酸盐或铀酸盐形式存在的铀浓缩物的俗称 (见图)。它是铀水冶厂的主要产品，也是铀纯化厂



黄饼产品

的原料，其中铀含量一般为 40%～70%。铀水冶厂制取黄饼主要有以下两种方法：(1) 从酸性含铀溶液中沉淀重铀酸盐的碱中和法。常用的碱性沉淀剂有氢氧化铵、气态氨、氧化镁、苛性钠等，控制中和最终 pH 值为 6.5～8.0，铀以相应的重铀酸盐沉淀下来。(2) 从碱性含铀溶液中沉淀重铀酸钠的氢氧化钠沉淀法。当溶液中加入氢氧化钠，使 pH 值大于 12 时，铀开始水解沉淀，沉淀产物被认为是重铀酸钠和组成复杂的多铀酸盐的混合物。沉淀得到的黄饼通常需要洗涤和过滤脱水，以最大限度地除去杂质。过滤脱水后的黄饼经过干燥、煅烧再包装出厂；也可允许含有一定的水分，送到铀纯化厂集中干燥、煅烧。（撰写：赵锡熊　审订：许根福）

huitibang

灰体棒 grey control rod 对中子的穿透是半透明的，即入射到棒内的中子部分地而不是全部地被吸收的控制棒。在核电厂中，利用灰体棒代替吸收性很强的黑体棒来控制功率，有利于改善负荷工况下的运行特性。

（撰写：奚树人　审订：单文志　许汉铭）

huifa fenli

挥发分离 volatilization separation 基于混合物中各组分的挥发性不同而实现分离的一种过程。挥发分离在放射化学分离中得到了应用，例如利用氢化物的挥发性，从裂变产物中分离放射性砷和锑。在铀的生产工艺中利用 UF_6 的挥发性对铀进行纯化等。早期人们试图建立一种乏核燃料后处理干法流程，即利用 UF_6 和 PuF_6 的易挥发性，与一些不易挥发的裂变产物分离，但该法在工业上较难实现。

（撰写：罗文宗　审订：崔安智）

huifu cuoshi

恢复措施 recovery measure 核事故后的恢复措施主要指为恢复自然环境所采取的措施，但也包括为恢复人们的正常生活所采取的措施。事故后期的恢复措施主要是对建筑物和区域的去污。区域去污主要包括对道路、地面、建筑物、林地、农田等的去污活动。在完成了去污工作后，除了需要重点保障的道路、地域和建筑物尽可能达到或接近允许标准外，有一部分洗消对象在去污后，仍残留有放射性核素。为了防止这些剩余的放射性核素再悬浮或扩散继续对人员和环境造成影响，需要固定剩余污染，如利用干净的沙、土、沥青、油漆或其他胶粘、快干的材料来覆盖和固定未被清洗掉的放射性物质。除此之外，恢复措施还包括其他与此期间行动有关的工作，如组织撤离人员返回和按照规定的剂量限值评估个人剂量和群体剂量等。放射性废物的运输和处置也是恢复措施的一项重要内容。（撰写：施仲齐　审订：陈竹舟）

huiguang fangdian dengliziti

辉光放电等离子体 glow discharge plasma 在 10^{-2}～10^{-1}Pa 气压下，两电极间施加电压形成的放电等离子体。通常由正柱区和阴极、阳极区构成。电极区结构复杂，外施电压主要降落在阴极区。正柱区是准中性的，即电子密度与离子密度基本相等而无净电荷，通常电子密度为 10^{15}～10^{16} m^{-3}，电子温度为 1～2 eV，而且电场很低，约 1 V/cm。正柱区通常占放电管长度的绝大部分。正常辉光放电的电流密度在 50 $mA \cdot cm^{-2}$ 以下，端电压几乎与电流无关。当输入功率加高时，电子数密度与功率成正比增加，而电子动力温度随功率增高而略有下降。在给定气压下，阴极区的长度不变，当放电管长度小于正常阴极区长度时为受阻辉光放电，此时可得到更高的电子密度并在电极区有更高的鞘层电压。（撰写：钱尚介　审订：黄　林）

huiliu cuiqu liucheng

回流萃取流程 reflux flowsheet 提纯浓缩钚的一种萃取流

程。萃取到有机相中的钚经萃取、反萃后，反萃水相按一定的比例返回至萃取段进行再次萃取的工艺流程，又称水相回流萃取流程。在后处理流程钚线净化循环中采用水相回流萃取流程，其目的是浓缩钚产品和进一步分离杂质。

（撰写：胡景炘　审订：朱永赌）

huilu shuizhi jiandu

回路水质监督　circuit water quality surveillance　在轻水反应堆启动、正常功率运行及停堆期间，为保证反应堆运行安全，根据反应堆设计要求的水质监测项目和频度，以手动取样或在线化学仪表方式对一、二回路各系统水介质实时进行的化学分析测量。水质监测指标分为控制指标和诊断指标。控制指标指直接危及反应堆运行安全的化学参数，如Cl^-、溶解氧、溶解氢等。在反应堆设计中，必须明确给出其限定值和测量频度，当偏离限定值时，应立即报警并在规定时间内采取纠正措施，使其恢复到限定值以内，否则反应堆必须降功率运行或停堆。诊断指标指对反应堆运行可能存在潜在危害的化学参数，如pH值、电导率、Fe、SO_4^{2-}离子等，在设计中也应给出限值和测量频度，一旦偏离，应及时跟踪，并在必要时采取相应措施。　（撰写：樊均福　审订：孙荣绵）

huitian

回填　backfill　在放射性废物处置中，指放射性废物货包堆放在处置单元内后，将货包之间或货包与处置单元壁之间的空隙用某种材料充填并压实的过程。所用材料称为回填材料。回填材料放在废物货包周围作为一种工程屏障以稳定周围环境条件，缓解水（地面水和地下水）接近废物货包，并通过其吸附作用减小可能发生的废物中放射性核素向环境迁移的速率。粘土类是较好的回填材料，其中膨润土因其具有很强的阻滞核素迁移性能和抗渗性，而得到广泛的应用；石英砂和水泥浆也常用作回填材料。对较高水平放射性废物的处置，对回填材料要求更为严格，除了上述两种性能外，还要求具有良好的导热性能。因此，往往对回填材料进行改性，如掺入石英砂和活性炭，以改善其导热性。回填不但在处置单元内部实施，为了防止地面水的渗入及放射性核素向环境迁移扩散，在处置单元四周及顶部也实施回填作业。

（撰写：谷存礼　审订：陈　式）

huiliuqi

汇流器　funnel　将两股脉冲频率为f、平均流强为I的束流汇合成频率为$2f$，平均流强为$2I$的束流控制装置。两股束流的汇合是通过偏转、使束团在纵向交替实现共轴而获得的。汇流器由偏转磁铁、四极透镜、聚束腔和高频偏转腔组成。来自两个方向的束流中的束团有180°相位差，偏转磁铁先将两股束流偏向共同束轴，然后进入一个频率为f的高频偏转腔，两股束流中的束团受到两个方向的偏转，最终使它们共轴，形成频率为$2f$的束流。四极透镜和聚束腔使束流在传输中获得适当横向聚焦和纵向聚束，并与汇流器之后的加速器相匹配。这种装置适用于强流离子直线加速器。

（撰写：傅世年　审订：张　闯）

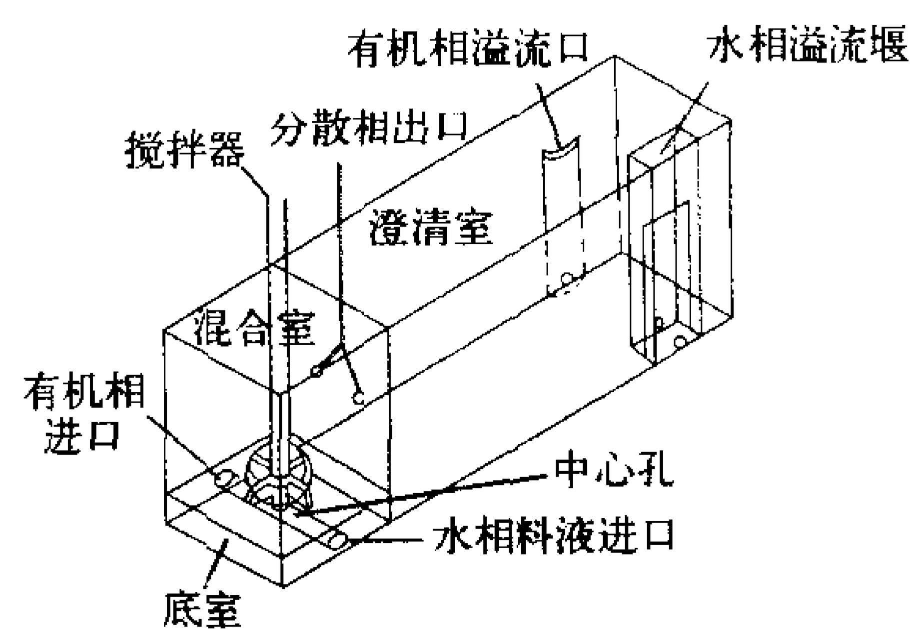
hunheceng

混合层　mixed layer　又称烟雾层、霾层。低层大气湍流混合强烈而使污染物和其他大气成分能充分稀释扩散但垂直扩散空间有限的气层。由于地面加热或加上机械原因造成大气边界层下层湍流强盛而上层为弱湍流状态或无连续性湍流的自由大气，污染物和其他大气成分在下层能充分混合扩散而不易穿过上下层交界面向上输送。上下层交界面称混合层顶，其高度即混合层厚度。混合层的大气污染物扩散呈现两种基本形式。混合层内排放的污染物能较快地扩散稀释，但垂直方向的扩散空间有限，污染物只能在地面和混合层顶之间扩散混合，最终各高度污染物浓度达到均匀分布，形象地称这种来回混合为陷阱型扩散（trapping）。通常浅薄的混合层伴随着高的地面污染物浓度，反之，混合层深厚时污染物浓度较低。处于稳定层结弱湍流气层的高架源排放烟云一旦遇到抬升增厚的混合层，被混合层顶截到的浓密污染物将很快地混合扩散到地面，形象地称为熏烟型扩散（fumigation）。最常见并且具有重要污染气象学意义的混合层类型是白天陆地的对流边界层和海岸带热内边界层。前者混合层顶随地表加热的进程而逐渐升高，高架源的熏烟型扩散可产生短时间大范围的高地面浓度。后者的混合层随气流进入陆地的距离而逐渐增厚，高熏烟浓度的地域较小、但持续时间往往较长。混合层是大气边界层的一种主要形式，其结构和厚度的变化规律已有大量的理论和实验研究。近年来发现混合层垂向上下扩散具有很强不对称性，以高斯扩散公式为基础的计算模式不尽适用，但目前尚未有新的实用模式出现（参见内边界层）。

（撰写：陈家宜　审订：蔡旭晖）

hunhe chengqingqi

混合澄清器　mixer-settler　由混合室和澄清室单元组合而成的溶剂萃取设备。在混合室中，通过机械搅拌使有机相与水相充分混合接触，实现传质，在澄清室中两相按它们的密度差完成轻相与重相的分离。每个混合室和澄清室单元为一级，可以多级串联，实现逆流操作。目前已研制出多种类型的混合澄清器，如简单箱式混合澄清器、立式混合澄清器、联合混合澄清器和全逆流混合澄清器等。与其他类型的萃取设备相比，混合澄清器结构简单，易于操作，相比调节范围大，适应性强，易于维修保养。其工作原理如图所示。　（撰写：程光荣　审订：牛玉清）



典型箱式混合澄清器单元示意图

hunhe feiwu

混合废物　mixed waste　含非放射性危险废物的放射性废物。混合废物中所含的危险废物指列入我国《国家危险废物名录》（1988年）的废物。按其放射性活度浓度水平，混合废物可分为高放、中放或低放混合废物。混合废物主要来自早期核武器研究和生产设施。随着核科学技术的发展，严格和科学的废物管理，如今混合废物的产生量已大大减少。混合废物除了放射性危害外，还具有危险废物的其他特性（如燃爆性、化学毒性、生物毒性等），故混合废物的处理和处置需同时满足放射性废物和危险废物有关法规和标准规定的要求。　（撰写：孙东辉　审订：王显德）

hunhewu taoci ranliao

混合物陶瓷燃料　ceramic mixture fuel　由U–Pu或U–Th

的混合氧化物、碳化物或氮化物组成的陶瓷核燃料。这类燃料都含有易裂变核素^{239}Pu或^{235}U和可转换核素^{238}U或^{232}Th，适用于核燃料的增殖或转换。目前，$(U, Pu)O_2$已在快堆和轻水堆中使用，$(U, Th)O_2$则在高温气冷堆中得到了应用。混合燃料的制造基本上与其单一化合物的相类似。混合碳化物和混合氮化物因有更高的重原子密度和更低的轻重原子比，它们的转换比或增殖比更高；在运行温度下，它们的热导率高，可在更高的功率密度下使用；对给定的热功率下，混合碳（或氮）化物的堆芯装料较少，从而大大缩短燃料加倍时间，因此，它们有望成为混合氧化物的替代燃料。

（撰写：李文埮　审订：张忠岳）

hunhe zhuru cailiao gaixing

混合注入材料改性　material modification by combined injection　混合注入是在离子注入之前或同时，在工件表面或上方的空间形成给定的组分，以改进表面改性的质量。有3种注入方式：(1) 反冲注入，先用溅射源在表面形成给定的金属膜，然后用非反应高能离子束轰击，金属膜中的金属原子被离子动量反冲注入材料表面；(2) 反应离子注入，在离子注入的同时，用溅射源向加工室注进金属原子，注入离子与金属原子碰撞发生化学反应形成给定的高能化学产物的离子，随之注入工件；(3) 电子注入，电子轰击通常用于加工表面的预处理，达到清洁表面、除气和活化表面的目的。也可以在注入的同时用电子轰击以保持加工金属表面温度在800～1000℃之间，使注入离子深入到毫米量级的深度。

（撰写：钱尚介　审订：李启瑞）

huoduji

活度计　radionuclide calibrator　一种以电离室为探测器，用以测量放射性活度的仪表。电离室一般为一充入几十大气压惰性气体的井型电离室，电离电流的放大、数据的运算处理、结果的显示等则包含在一台仪表内。活度计需经已知活度的标准进行校准。不同核素具有不同的校准因子，并赋以不同的代号。将待测放射源按一定要求放入电离室井中，输入相应核素的代号，则在显示器上可直接给出以贝可（Bq）或居里（Ci）为单位的放射性活度值。活度计的主要特性参数有本底电流、灵敏度、能量范围、线性范围等。一般可测量十几种到上百种核素的放射性活度。测量活度的范围约为10^4～10^{10} Bq。测量值的总不确定度对一般核素可小于5%。活度计主要用于放射性核素制备和应用的领域，并为中国药典定为放射性药品活度测量的主要方法，广泛用于各医院核医学科。

（撰写：姚历农　审订：丁声耀）

huohuafa

活化法　activation method　应用中子与样品中的核素发生核反应，感生放射性（通常称为活化或激活），测量其放射性来探测中子。中子活化法利用某种反应截面已准确测定的样品，在中子场照射后，测定照射位置和时间，根据衰变纲图算出所形成的放射性核的活度，从而求得中子注量。活化探测器应选择活化截面大、半衰期适中、产物核放射性易测量的材料。本方法具有以下特点和优点：(1) 所用的活化探测器小，适宜于测量中子场的注量分布；(2) 抗γ射线本底性能好；(3) 适当选择活化探测器的材料及其厚度，其探测灵敏度可在很大范围内变化；(4) 选择活化片的不同中子截面共振阈能，可以测量不同中子能量的注量。利用一组合适的活化探测器，可以测量热中子以上各个能区的注量和能谱。

（撰写：丁声耀　审订：容超凡）

huohua feiwu

活化废物　activated waste　由辐射的活化作用而形成的放射性废物。活化废物主要产生于核反应堆运行。中能、高能加速器运行过程也产生活化废物。反应堆冷却剂、反应堆压力容器、堆内部件和构件以及屏蔽材料与中子活化反应会产生许多放射性核素，例如^{60}Co，^{55}Fe，^{63}Ni，^{36}Cl，^{3}H，^{14}C等。活化产物绝大部分是短半衰期核素，寿命较长的有^{14}C，^{36}Cl，^{63}Ni等。反应堆关闭后延迟拆除，能大大减少其对工作人员的照射。

（撰写：孙东辉　审订：王显德）

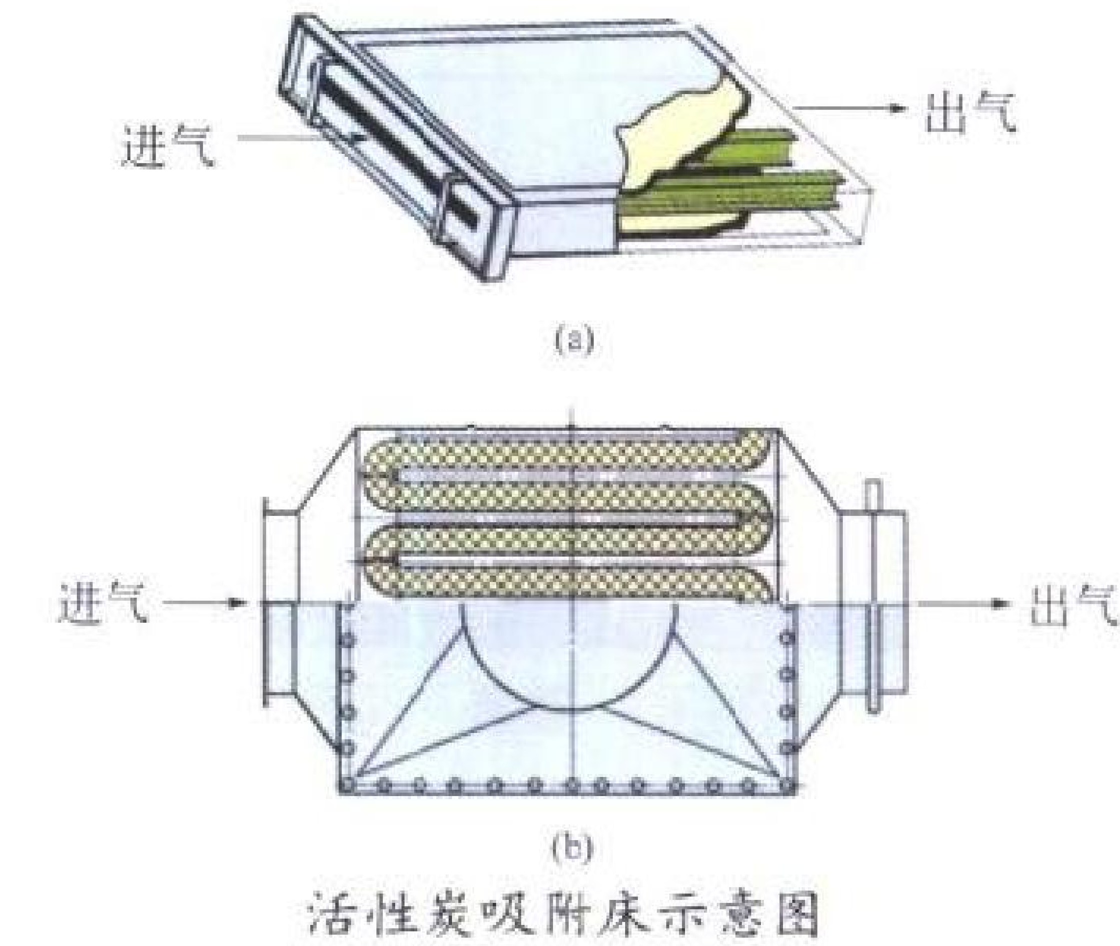
huohua fenxi

活化分析　activation analysis　根据辐照感生放射性核素的特征辐射实现元素和核素分析的一类方法。活化分析按辐照粒子（或射线）的不同，可分为中子活化分析、带电粒子活化分析和光子活化分析等。按测量程序又可分为放射化学活化分析和纯仪器活化分析。其中，利用核反应堆热中子和超热中子(n, γ)反应的活化分析应用最为普遍。与通常的化学分析比较，活化分析具有如下特点：适用样品的种类广、重量范围宽（μg至kg）；可以高度灵敏地（10^{-6}～10^{-15}g）测定周期表中绝大多数元素；非破坏性和同时多元素分析（因而易于实现自动化）；基本上避免了痕量分析中致命的污染和丢失问题；痕量分析的高准确度等。因此，活化分析目前在环境、生命、材料、地球科学及考古和法医学等领域得到广泛应用。活化分析的局限性主要表现在：通常需大型设备（反应堆、加速器等），放射性操作的不便以及难以直接测定元素的化学状态等。

（撰写：田伟之　审订：吕廷晓）

huoxingtan xifuchuang

活性炭吸附床　active charcoal adsorption bed　一种装有活性炭介质的放射性废气处理装置（见图）。可用于去除来自反应堆运行、后处理厂和同位素生产等过程所产生的放射性气体。现代沸水堆一般利用常温或低温条件下工作的“活性炭放射性惰性气体滞留衰变床”。经验表明，此种活性炭滞留装置对惰性气体的净化效率很高，大大减少了沸水堆的气态放射性排放量。该装置也用于压水堆的放射性惰性气体的滞留衰变。活性炭吸附床的另一大用途是去除废气中生物危害较大的放射性碘。废气中的碘，以气溶胶碘、元素碘、有机碘和无机碘化物等形态存在。由非浸渍的活性炭装填的吸附床



活性炭吸附床示意图

(a) 抽屉式活性炭吸附床；(b) 波纹网式活性炭吸附床

对单质碘有很高的去除效率，但对有机碘的去除效率很低。为了去除有机碘，必须采用经浸渍的活性炭制成的吸附装置。

（撰写：刘春秀　审订：贾　明）

huohezai

火荷载　fire load　核设施和构筑物的空间（包括墙、隔墙、地板和天花板的面层）内所含可燃物的发热潜能。确定火灾的危害和后果，必须先确定防火区中火荷载的火灾危害性。灭火系统和灭火方式的选用也取决于火荷载的大小，对电缆材料和类似其他可燃物属于高火荷载并且存在深部封闭部位起火可能性的场所，宜采用喷水系统，因为扑灭这种深部火灾需要冷却。

（撰写：王秀清　审订：俞尔俊）

huojing baojing xitong

火警报警系统　fire alarm system　核设施在每个防火区内，必须针对该区的火灾危害性，而设置专门设计和选择的报警系统。火警报警系统必须通过音响或灯光信号在控制室内报警。在经常有人或装有自动灭火系统的场所和其他特定场所，如有必要，也必须设置就地音响和灯光信号报警。

（撰写：王秀清　审订：俞尔俊）

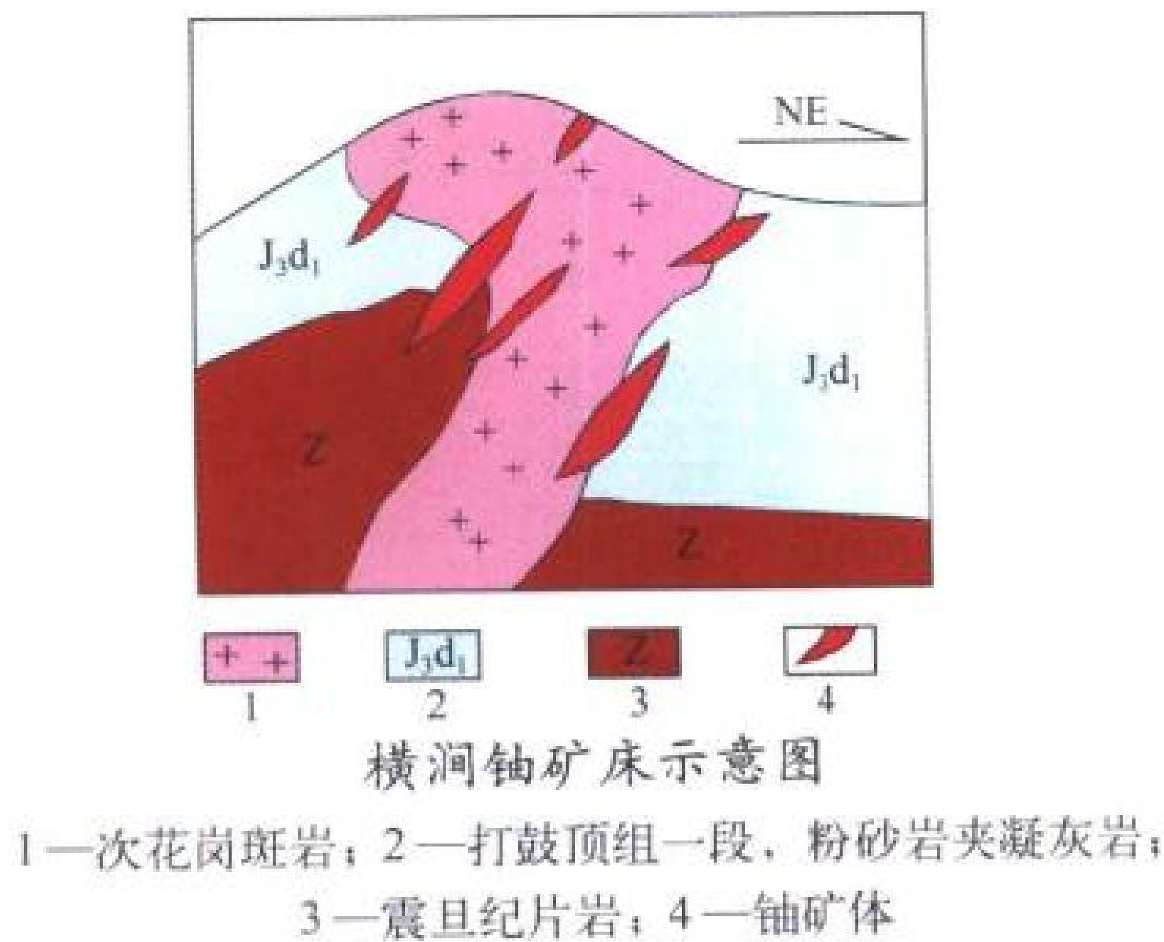
huojing tance xitong

火警探测系统　fire detection system　核设施在每个防火区内，必须针对该区的火灾危害性，而设置专门设计和选择的探测系统。选择火警探测设备时，必须考虑设备工作时所处的环境，例如辐射场，温度，湿度，气流等。必须进行工程分析，以确保能根据防火区内现场材料因受热炭化或着火而放出产物的性质来恰当地选择探测器。

（撰写：王秀清　审订：俞尔俊）

huoshanyanxing youkuangchuang

火山岩型铀矿床　volcanic rock type uranium deposit　产于陆相酸性、中酸性、碱性火山岩中，成因上与火山作用有关的铀矿床。火山岩型铀矿床可产于各种相的火山岩中。主要的火山岩型铀矿床分布在晚古生代和中新生代火山岩中。主要铀矿物为沥青铀矿，常见钛铀矿。伴生矿物为金属硫化物、磷灰石、碳酸盐等。伴生元素多，特征性的有 Mo，P 等。矿石铀品位一般为 0.1%～0.3%，个别富矿体可达 1% 及以上。单个矿床规模为几百到几千吨，大者可达几万吨。产出重要火山岩型铀矿床的国家有俄罗斯、哈萨克斯坦、中国、美国、墨西哥和蒙古等。产于赣杭火山岩带西南段相山火山盆地北部的横涧铀矿床是典型的火山岩型铀矿床。矿床受次花岗斑岩内外接触带的裂隙带控制，呈群脉状分布（见图），矿床规模中型。



横涧铀矿床示意图

1—次花岗斑岩；2—打鼓顶组一段，粉砂岩夹凝灰岩；3—震旦纪片岩；4—铀矿体

（撰写：陈祖伊　审订：赵凤民）

huoyan fanyingqi

火焰反应器　flame reactor　一种用于 UF_4 氟化制取 UF_6 的生产过程的塔式高温快速反应设备。炉体是直径为 100～200 mm 的无缝蒙乃尔合金管，高度约 3 m，顶端装有加料器。炉体外缠绕有蒙乃尔合金制的冷却管。下部装有旋风分离器和残渣收集器。原料 UF_4、F_2 以及用来吹散 UF_4 的氮气，分别自炉体上部加入。在反应器加热和 F_2 预热情况下，由于气固两相混合的很好，UF_4 能在 F_2 中"燃烧"，过程在火焰中进行，中心温度可达 1000℃ 以上。反应生成的 UF_6 气体和残渣经过下部的旋风分离器分开。残渣进入渣罐，气体进入 UF_6 冷凝系统。火焰反应器对设备材料要求高，需用精制 UF_4 作原料。火焰反应器的容积比较小，但是生产能力很高。直径102 mm 的反应器每昼夜的生产能力换算为金属铀可达 2.5 t。

（撰写：隋富志　审订：朱永睶）

huozai de erci xiaoying

火灾的二次效应　secondary effects of fire hazard　核设施和构筑物必须考虑的着火二次危害。火灾的二次效应与防区选用火灾封锁法还是火灾扑灭法有关。火灾二次效应的例子有：(1) 热量、烟气、灭火剂和腐蚀性物质对设备和构筑物的有害影响。(2) 电气设备的断路、短路、接地、电弧放电以及设备和管道的损坏所引起能量输入。(3) 构筑物变形和倒塌引起的机械损坏。这种损坏可能产生飞射物（二次）的爆炸，安全重要物项的附加载荷，高温流体的释放以及出入通道和疏散走道的堵塞而加剧。(4) 热量、烟气、灭火剂和绝缘材料所产生的有毒气体对运行人员的有害影响。

（撰写：王秀清　审订：俞尔俊）

huozai fengsuofa

火灾封锁法　blockage of fire　将火灾限制在某一防火区不影响其他区域的方法。火灾封锁法假定失火时防火区内全部可燃物能被烧掉，但核设施内未损坏部分仍能满足停堆、冷却和放射性包容的功能。为确保这些要求得到满足，必须进行彻底的安全分析和火灾危害性分析。

（撰写：王秀清　审订：俞尔俊）

huozai pumiefa

火灾扑灭法　extermination of fire　采用火警探测，固定灭火系统和（或）人工消防设备扑灭火灾的方法。采用火灾扑灭法时应考虑每个防火区可燃物料的空间分布效应。火灾扑灭法规定：在一次假设的火灾中只有部分可燃物被烧掉，受影响的防火区内的安全系统的未损坏部分必须满足停堆、冷却和放射性包容的要求。

（撰写：王秀清　审订：俞尔俊）

huozai weihaixing fenxi

火灾危害性分析　fire hazards analysis　为了确定核设施和构筑物满足既定防火区边界的耐火能力，以及灭火系统和防火屏障的要求，需要进行的危害性分析。火灾危害性分析目的是：确定安全重要物项；确定火灾的危害和后果；确定防火设施的类型；确定防火区边界所要求的耐火能力。

（撰写：王秀清　审订：俞尔俊）

huobao

货包 package 提交运输的、装有放射性内容物的包装。放射性物质运输安全规程中所涉及的货包类型与放射性活度限值和放射性物质限制量有关，其应满足有关要求。货包的类型有：例外货包、1 型工业货包、2 型工业货包、3 型工业货包、A 型货包、B (U) 型货包、B (M) 型货包和 C 型货包等。含有易裂变物质或 UF_6 的货包还应满足附加要求。

（撰写：董柳灿 审订：赵亚民）

huobao he waibaozhuang fenji

货包和外包装分级 categories for package and overpack 按货包和外包装的运输指数及表面辐射水平确定其等级。根据表中规定的条件将货包和外包装的等级分为Ⅰ级（白）、Ⅱ级（黄）和Ⅲ级（黄）。还应加上下列要求：(1) 对于货包或外包装，如果运输指数满足其中某一级的条件，而表面辐射水平满足另一级的条件，则必须划归两类中较高的那一级。Ⅰ级（白）是最低级。(2) 如果表面辐射水平大于 2 mSv/h，货包或外包装必须按独家使用方式运输，对于独家使用的托运货物，在货包或外包装外表面任一点的辐射水平不得超过 10 mSv/h。而且还应满足以下要求：①运输车辆装有保护围栏，使得在常规运输过程中防止未经批准的人员进入围栏以内，采用了固定货包或外包装的措施，在常规运输过程中它们在车辆内的位置不会发生变动，且在运输期间不进行装卸作业，这种情况下货包和外包装的表面辐射水平才可超过 2 mSv/h。② 除了属于独家使用，按照有关规定而装在车辆上或车辆内运输的货包或外包装可用船舶运输但任何时候都不得将它们从车辆上卸下来的要求外，装在车辆上或车辆内的、表面辐射水平大于 2 mSv/h 的货包或外包装不得用船舶运输或航空运输，除非是特殊安排的或属于独家使用经许可的例外。(3) 按特殊安排运输的货包必须归为Ⅲ级（黄）。(4) 由按特殊安排运输的货包组成的外包装必须归为Ⅲ级（黄）。货包和外包装分级标志如图 1、图 2 和图 3 所示。

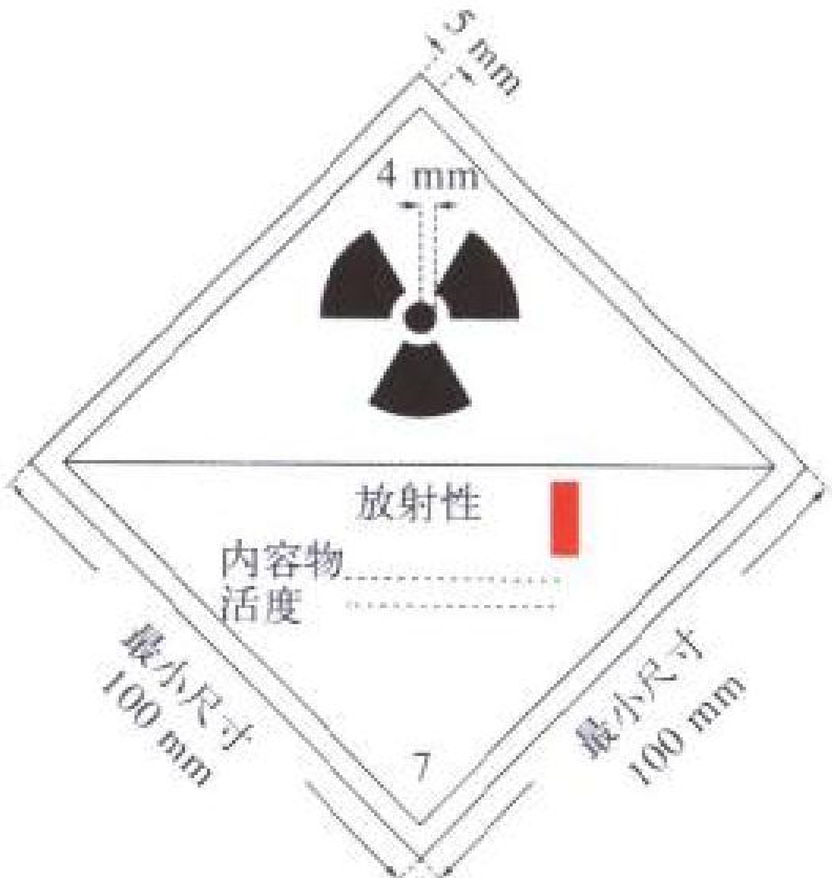


图 1 Ⅰ级（白）标志



图 2 Ⅱ级（黄）标志



图3 Ⅲ级（黄）标志

货包和外包装的分级

条件		级 别
运输指数 TI	外表面任一点的最大辐射水平 H/m · Sv · h⁻¹	
TI = 0①	$H \leqslant 0.005$	Ⅰ级(白)
$0 \leqslant$ TI $\leqslant 1$	$0.005 < H \leqslant 0.5$	Ⅱ级(黄)
$1 \leqslant$ TI $\leqslant 10$	$0.5 < H \leqslant 2$	Ⅲ级(黄)
TI >10	$2 < H \leqslant 10$	Ⅲ级(黄)②

① 如果被测得的运输指数 (TI) 小于 0.005，则可指定该值为零。

② 必须为属于独家使用的运输。

（撰写：董柳灿 审订：赵亚民）

huobao neirongwu xianzhi

货包内容物限值 contents limit for package 一个货包中装入的放射性物质的量不得超过规定的相应数值。对于装有易裂变物质的货包，应按批准书的规定，不得装有：大于货包设计书所容许的易裂变物质的质量；不同于货包设计书所容许的任何放射性核素或易裂变物质；在形态或物理化学状态方面或空间布置方面不同于货包设计书所容许的内容物。对于装有 UF_6 货包，其货包中的 UF_6 质量不得超过使用货包的设备系统所规定的货包最高温度时导致漏损量小于 5% 而推得的值。UF_6 必须以固体状态，在运输过程中货包的内压必须低于大气压。对于其他货包的内容物限值，分别见例外货包、工业货包、A 型货包、B 型货包和 C 型货包。

（撰写：董柳灿 审订：赵亚民）

huobao shiyan

货包试验 test for package 为证实货包具有承受正常运输条件和运输中事故条件的能力而进行的一系列试验。货包试验包括下述内容：(1) 试验试样的准备。(2) 包容系统和屏蔽体完好性试验以及评价临界安全。(3) 下落试验的靶子：该靶子必须具有这样一种特性的一个平坦而水平的平面，即受试样冲击时靶子的抗位移或抗形变的力任何增加都不会显著地增加试样的损坏。(4) 为装有 UF_6 设计的包装的试验。(5) 证实有承受正常运输条件能力的试验。这些试验包括喷水试验、自由下落试验、堆积试验和贯穿试验。(6) 对为运输液体或气体而设计的货包的附加试验。(7) 证实有承受运输中事故条件能力的试验：试样应接受力学试验、热试验和水浸没试验。(8) 对装有放射性物质活度大于 $10^5 A_2$ 的 B (U) 型货包和 B (M) 型货包以及 C 型货包的水浸没试验。(9) 对装有易裂变物质货包的水泄漏试验：为了根据有关规定进行评价而假定的水渗入或漏出程度达到最大反应性的货包均可免去此试验。(10) 对 C 型货包的试验：试样必须接受力学试验、穿刺／撕裂试验和强化热试验，热试验持续时间为 60 min。其还必须接受冲击试验，以至少不小于 90 m/s 速度冲击到靶上，以遭受最大的损坏。（撰写：董柳灿 审订：赵亚民）

huomian

豁免 exemption 将确认符合规定的豁免准则或豁免水平的辐射实践活动和（或）其所涉及的辐射源，经审管部门同意后免于遵循辐射防护和辐射源安全标准及规章。豁免的一般原则是：(1) 被豁免的实践活动或辐射源对个人造成的危险足够低，不需审管部门审管；(2) 被豁免的实践活动或辐射源所产生的集体辐射影响足够低，在通常情况下已不值得审管；(3) 被豁免的实践活动或辐射源具有固有安全性，不可能出现

导致上述两条原则不能满足的情况。目前国际上公认，如果经审管部门确认在任何实际可能的情况下下述两条准则同时得以满足，则可不作更进一步的考虑而将实践活动或辐射源予以豁免：(1) 被豁免的实践活动或辐射源使任何公众成员一年内所接受的辐射有效剂量预计为 10 μSv 量级或更小；(2) 该实践活动一年内所产生的集体有效剂量不大于约 1 人 · Sv。

（撰写：吴德强　审订：华　旦）

INFCIRC 66 xing he baozhang xieding

《INFCIRC/66 型核保障协定》 INFCIRC/66 Type Nuclear Safeguards Agreement　以文件 INFCIRC/66 为依据的项目核保障型协定。此类协定规定了对由国际原子能机构或通过国际原子能机构向某个国家提供核材料、非核材料（例如重水和锆管）、服务、资料、设备和设施实施国际原子能机构核保障监督。每个项目协定在规定机构和成员国对所指定项目的权利和义务之外，还必须包括由成员国按照国际原子能机构规约第 XI · F (4) a 条的规定作出的承诺，保证所提供的援助不被进一步用作任何军事目的。（撰写：程微微　审订：李　泽）

INFCIRC 153 xing hebaozhang xieding

《INFCIRC/153 型核保障协定》 INFCIRC/153 Type Nuclear Safeguards Agreement　以文件 INFCIRC/153 为依据的全面核保障协定。各国与国际原子能机构的全面核保障协定大部分是根据《不扩散核武器条约》(NPT) 缔结的，这是一个国家和国际原子能机构之间为了履行与不扩散核武器条约有关的核保障而缔结的双边协定。按照不扩散核武器条约第 III 条规定，国际原子能机构在当事国领土内或受其管辖的在其控制下的任何地方所进行的全部和平核活动中的一切源材料或特种可裂变材料实施核保障监督。这种协定要求当事国建立和保持一个所有受保障核材料的衡算与控制系统。1992 年 2 月国际原子能机构理事会确认这种全面核保障协定的范围不限于某一国已申报的核材料，而且包括应当申报的任何受保障核材料。

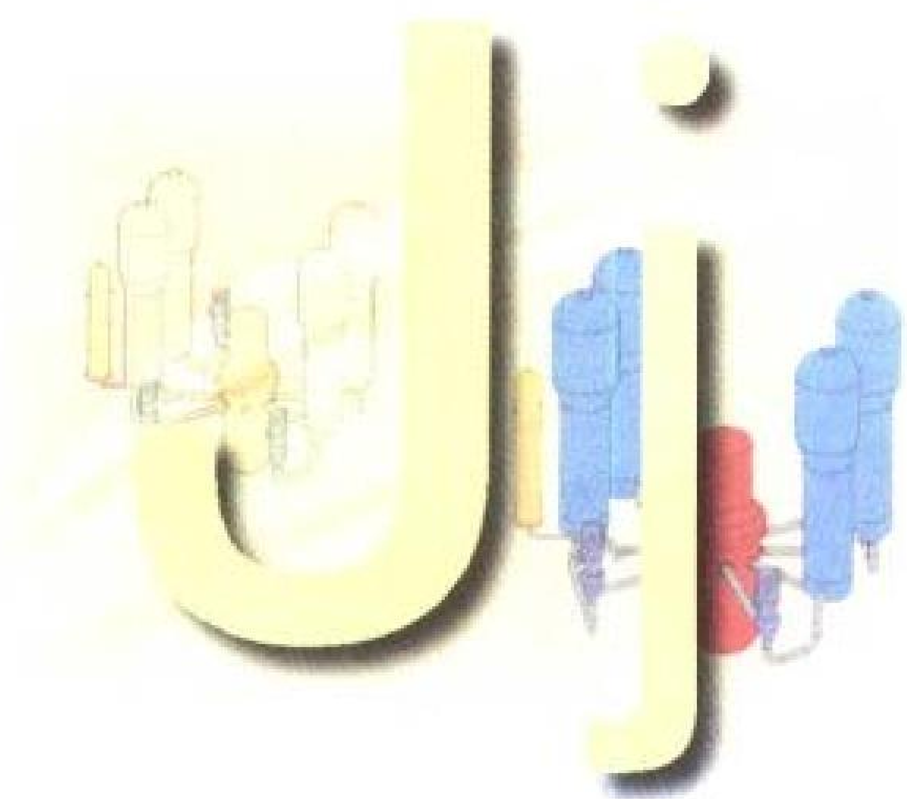
（撰写：程微微　审订：李　泽）

ITER FEAT fang'an

ITER-FEAT方案 design of ITER-FEAT　一种比原国际热核实验堆 ITER 工程设计建造费用大幅减少的新设计方案。ITER 因投资巨大（约 100 亿美元）及等离子体科学技术不够完善而倍受非议。为了满足 ITER 合作各方对降低风险的要求，联合设计组利用 ITER 合作项目已取得的物理和工艺数据库、认识水平、工具及手段，主要围绕要求的设计目标下降低 ITER 的建造费用进行方案研究。与原 ITER 的设计比较，1999 年提交的低成本 ITER 设计方案，主要在系统的规模尺寸设计、堆芯物理及堆运行参数的选取等方面作了较大调整，新方案的建造费用大约只有原 ITER 方案的一半。

（撰写：张国书　审订：钱尚介）

H



jixiebeng

机械泵 mechanical pump 由诸如活塞、偏心转子、叶片、阀等部件循环运动转移流体的机械。在真空技术中，专门指由转子、偏心转子、运动的叶片或滑阀组成的以机械的相对运动改变工作室的容积，使气体产生膨胀与压缩，将气体从入口转移至出口而排至大气的，并用低蒸汽压的油在运动部分与静止部分间起密封、润滑和冷却作用的真空泵；机械泵是旋片真空泵、定片真空泵、滑阀真空泵以及余摆线泵等的总称，通常工作压强范围为 2 Pa～0.1 MPa (单级泵) 和 0.2 Pa～0.1 MPa (两级泵)。

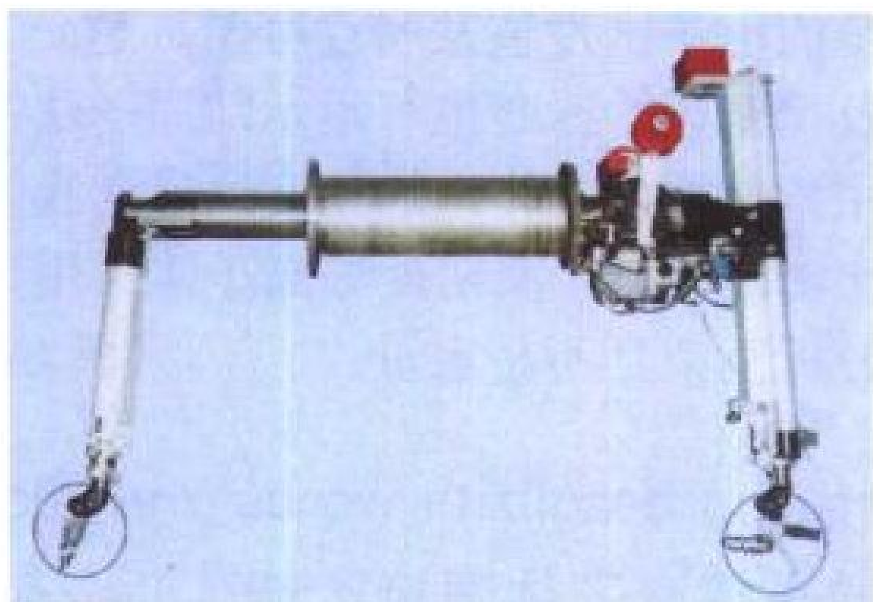
（撰写：陈文奎　审订：关遐令）

jixie quqiao

机械去壳 mechanical decladding 用机械方法去除乏燃料组件的外壳。例如，石墨气冷堆元件镁诺克斯乏燃料组件后处理时，先切除组件的端头，然后在水下用对称安装的三把铣刀，将包壳壳管沿纵向切成长条，并像剥香蕉皮那样将其剥掉。又如快中子堆乏燃料组件为六边形不锈钢外壳，内为燃料棒，后处理时先切去端部接头、充气室和解剖外套筒，把燃料组件拆散成较小的燃料棒束，尽量减少后续剪切的困难。有一种燃料组件结构为同心圆多层燃料组件，外套筒和最内层管为铝合金，后处理时，先切去端头，再用推拉装置将它们与含燃料棒的圆套筒分离。（撰写：林懋贞　审订：郑华铃）

jixieshou

机械手 manipulator 核领域隔离操作工具，用在屏蔽墙后操作放射性物质，进行维修、拆除、更换设备、搬运物品等作业，以使操作人员与被操作的放射性物质及其污染区隔开，从而保护人不受放射性辐射损伤。它是由把手或按钮、操作杆操作的，按照用途、操作能力和机械结构可分为四类：(1) 剑式机械手；(2) 主从机械手 (见图)；(3) 电随动机械手；(4) 动力机械手。



主从机械手

（撰写：林春荣　审订：郑华铃）

jixie wendingxing

机械稳定性 mechanical stability 废物固化体抵御机械作用的能力。废物固化体在运输、暂存和处置过程中，不可避免地会经受到诸如挤压、振动、撞击这样的机械力作用，如果固化体破裂为碎块，这将导致：(1) 固化体比表面积增加，使放射性核素浸出增加；(2) 破碎固化体中≤ 100 μm 的粉尘可能随空气散布，稍大些的粉尘可能随水流失。因此固化体的机械稳定性是评价固化体安全性的重要指标之一。

（撰写：汤宝龙　审订：罗上庚）

ji ji he

奇—奇核 odd–odd nucleus 见核的奇偶差。

ji ou he

奇—偶核 odd–even nucleus 见核的奇偶差。

jifen redaolü

积分热导率 integrated heat conductivity 随温度变化的燃料芯块的热导率 $k_U(t)$ 从表面温度 t_w 到中心温度 t_0 的积分，即 $\int_{t_W}^{t_0} k_U(t)\mathrm{d}t$，其单位是 W/cm。现代反应堆普遍使用 UO_2 燃料，它的热导率低，且随温度呈非线性变化，使用积分热导率的概念可使燃料中心温度计算大大简化。通常以表格形式给出从零摄氏度计起的积分热导率。

（撰写：李金才　审订：马昌文）

J

jilei yinzi

积累因子 build-up factor 又称累积因数。宽束辐射通过介质时，某一特定的辐射量在任何一点处的总值与未经任何碰撞到达该点的辐射所产生的值的比值。在测量或计算 X 或 γ 辐射场时，积累因子是一个用于因散射所致的修正因子，其值与下列条件有关：源特性（辐射的能谱和角分布，几何形状和尺寸）；屏蔽介质特性（介质的原子序数，屏蔽体的构成、几何形状和尺寸）；表述辐射场的辐射量（如注量、能注量和照射量等）；源、屏蔽和参考点（测点或计算点）的相对位置。在屏蔽工程计算中，常用能量积累因子 B_E、能量吸收积累因子 B_a 和照射量积累因子 B_x 等。作为例子，照射量积累因子 B_x 可用下式表示：

$$B_x = \int \mu_{en}^{air}(E)\Phi(r,E)E\mathrm{d}E \Big/ \int \mu_{en}^{air}(E)\Phi_0(r,E)E\mathrm{d}E$$

式中 $\Phi(r,E)$ 和 $\Phi_0(r,E)$ 分别表示在位置 r 处光子能量为 E 的光子总注量率和未经碰撞的光子注量率；$\mu_{en}^{air}(E)$ 为空气对能量为 E 的光子的能量吸收系数。对于一些典型源和常用屏蔽材料的积累因子可查表得到。可以通过在窄束条件下辐射场的指数减弱规律中引入一个积累因子，来计算存在散射辐射时的总辐射量。尽管积累因子的概念是简明的，然而，在非点源 γ 辐射穿透大体积屏蔽物质时，积累因子的计算往往是复杂的，通常需借助于蒙特卡罗方法。

（撰写：徐明达　审订：陈明焌）

jiben fuhe yunxing fangshi

基本负荷运行方式 base load operating mode 核动力装置承担电网中恒定功率的运行方式。电能不能贮存，其生产和消耗必须保持平衡，但电能消耗是变化的，为了适应这种情况，在电网中有些动力装置保持恒定功率，有些动力装置要不断改变其功率。核电厂由于其设备投资大、核燃料在发电成本中占的比例小以及稳定运行有利于核安全，因而核电厂

一般均采用基本负荷运行方式。

（撰写：田树全　审订：唐富初）

jiben hesheshi

基本核设施 principal nuclear facility　反应堆、乏燃料后处理厂、核材料同位素分离厂、核燃料加工或制造厂（除采矿或矿石处理厂外）或者由国际原子能机构理事会随时指定的其他此类设施或工厂，包括相关的贮存设施。

（撰写：程微微　审订：李　泽）

jiben xianghu zuoyong

基本相互作用 fundamental interactions　相互作用是改变物质运动状态的外在因素，而基本相互作用则是不能被其他作用来加以说明的独立的根本性的相互作用。基本相互作用有4种：强相互作用、电磁相互作用、弱相互作用和万有引力相互作用。现代量子场论认为，各种相互作用都是由相应的媒介粒子来传播的。在规范量子场论的框架下，电磁相互作用与弱相互作用可以统一为电弱相互作用。在极高的能量或极短的距离上，电弱相互作用与强相互作用也可能统一为同种相互作用。在核子的尺度（约10^{-15} m）上，上述4种相互作用的作用强度的比例关系大约是$10^{-2}:1:10^{-10}:10^{-36}$。强相互作用发生在带色荷的粒子（如夸克和胶子）之间，是一种短程相互作用，力程约为10^{-15}m。电磁相互作用发生在带电荷的粒子之间，是一种长程力。电磁相互作用在粒子与原子核过程中有重要作用。原子核和电子通过电磁相互作用形成原子，原子通过剩余电磁相互作用形成分子，进而形成各种材料。弱相互作用发生在各种粒子之间，是一种短程相互作用。弱相互作用过程中许多对称性是破缺的，比如宇称、同位旋、夸克的味等，因此弱相互作用在改变粒子种类和造成对称性破缺方面起决定性的作用。引力相互作用发生在任何有质量的粒子或物体之间，是一种长程力。在宏观和宇观过程中，引力起关键作用。　（撰写：叶沿林　审订：卢希庭）

jixian huifuqi

基线恢复器 base-line restorer　在核辐射谱中，用来消除高脉冲率下产生的基线偏移和基线涨落的电路。基线偏移和基线涨落是脉冲序列通过线性系统后，输出信号的起点电平偏离静态输出电平的现象，基线偏移通常是由于系统的冲激响应具有较长的尾部，在输入脉冲率较高时堆积起来而引起的，它将影响信号峰值电平测量的精度。

（撰写：刘　杰　审订：席德明）

jifa hanshu

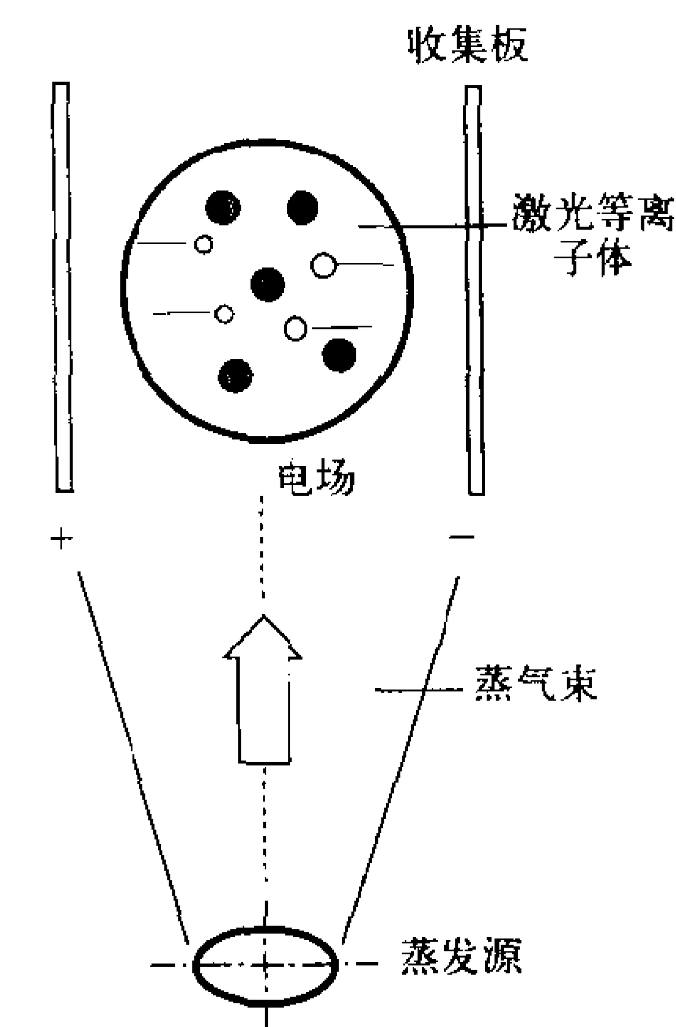
激发函数 excitation function　核反应截面随入射粒子动能的变化关系。表示为关系曲线叫激发曲线。在核能应用中，一些特定核素的激发曲线可以作为标准使用。有些核的核反应产物核具有特征放射性，它可以在核武器设计中置于弹体内作为指示剂。在核试验中测量这种特征放射性活度来检验设计是否达到要求。准确测量一些核反应的激发函数是实验核物理的一个重要任务。配合理论模型计算可给出完整的激发函数。　（撰写：张竞上　审订：许谨诚）

jiguang chuiqi zhuru

激光吹气注入 laser blowing　把高功率调Q单脉冲激光束聚焦到玻璃衬板上的金属靶膜上，将其加热气化形成快脉冲杂质中性原子束、原子团并引入等离子体。形成的杂质中性粒子电离成杂质离子并沿环向场磁力线迅速扩散，因碰撞和扰动，杂质离子沿径向向等离子体内部运动。杂质中性原子和离子在不同温度区域，被激发到不同的电离态，发射红外、可见、真空紫外、软X射线等不同波段的辐射，可获取辐射轮廓随时间的演变。利用杂质源时间演变模型，用杂质输运Code数值模拟，使模拟曲线与实验曲线拟合，可获得杂质在等离子体中的扩散系数和对流速度；由谱线的特征衰减时间得到杂质的约束时间。（撰写：郑银甲　审订：钱尚介）

jiguang dengliziti lizi yinchu

激光等离子体离子引出 laser plasma ion extraction　激光等离子体离子在电磁场作用下从中性原子中分离出来。如图所示，原子蒸气束中目标同位素原子经激光选择性激发、电离，形成等离子体。等离子体离子经电磁场作用从原子束中引出收集在精料板上。激光等离子体中存在3种粒子：电子、离子和中性原子。在离子引出过程中，它们之间会发生碰撞，形成碰撞（离子与中性原子间碰撞）共振电荷转移，二次电离（电子与中性原子碰撞）和碰撞（电子与离子碰撞）复合。这些碰撞过程都会造成目标同位素离子损失。离子引出在激光分离中起保证产品质量及提高分离效率的重要作用。



激光等离子体离子引出图

（撰写：王德武　审订：应纯同）

jiguang dengliziti midu zhenduan

激光等离子体密度诊断 diagnostic of laser-produced plasma density　激光产生的等离子体密度的实验测量。对小于临界密度的冕区，以较精确的光学探针法进行探测：一束紫外探针激光通过被研究的等离子体时，产生的光程位相及空间分布变化用底片或CCD二维阵列记录，进而利用阴影法、纹影法或全息干涉法得到电子密度及其梯度分布的信息。其中全息干涉法可获得多分幅的二维分布图像，时间分辨约15 ps，空间分辨约1 μm。对于临界面附近区域和更高密度的次稠密区，用波长更短的X光激光为探针光将明显提高可探测的电子密度值及时空分辨，这一手段正在发展。次稠密区及稠密区的诊断也可用示踪原子法：在被测区掺入特定元素，用其共振线与伴线的强度比或谱线的斯塔克（Stark）加宽推算出密度。对于高密度等离子体可用X光背光源技术，但数据分析复杂且不易定量。　（撰写：郑志坚　审订：江文勉）

jiguang dengliziti wendu zhenduan

激光等离子体温度诊断 diagnostic of temperature in laser-produced plasma　测定激光产生的等离子体的温度。两种主要诊断技术为示踪原子X光谱法和激光Thomson散射。示踪原子X光谱法测量示踪原子（离子）发出的X光连续谱或线谱，确定等离子体电子温度。包括几种方式：(1) 连续谱半对数曲线斜率；(2) 共振线与其双电子伴线或两共振线相对强度比；(3) 原子序数相近的两种示踪元素的等电子离子同一跃

迁谱线强度比。利用探针激光束在等离子体中的Thomson散射，在非相干散射条件下测量散射谱可确定等离子体电子温度。此外，受激Raman散射光谱短波截断法也可确定激光等离子体电子温度。（撰写：陈 波　审订：江文勉）

jiguangdenglizitizhong de canliang buwendingxing

激光等离子体中的参量不稳定性　parametric instability in laser plasma　激光在等离子体中驱动多种波，并与之相互作用的过程。激光强度超过某一阈值时，可驱动某一种参量不稳定性，产生相应的子波，以线性增长率指数增长，直至饱和(见表)。表中 n_c 为入射激光的电子临界密度，下标0，s，i，l分别表示入射激光、散射激光、离子声波和电子等离子体波。最重要的四波不稳定性是激光自聚焦成丝和静电波调制不稳定性。前者导致激光形成一根根丝状结构；后者形成高能电子和离子，并生成不同波长的电子等离子体波和离子声波。

激光聚变中的三波参量不稳定性

名　　称	频率关系	波数关系	发生地点
离子声衰变（IAD）	$\omega_0=\omega_i+\omega_l$	$k_0=k_i+k_l$	$\approx n_c$
受激喇曼散射（SRS）	$\omega_0=\omega_l+\omega_s$	$k_0=k_l+k_s$	$\leqslant n_c/4$
受激布里渊散射（SBS）	$\omega_0=\omega_i+\omega_s$	$k_0=k_i+k_s$	$\leqslant n_c$
双等离子体衰变（TPD）	$\omega_0=\omega_l+\omega_l$	$k_0=k_l+k_l$	$\approx n_c/4$

（撰写：常铁强　审订：朱少平）

jiguang fenli tongweisu

激光分离同位素　laser isotope separation　根据原子或由其组成分子的不同同位素在吸收光谱上存在的微小差别，应用线宽极窄的激光将某一种同位素原子或分子有选择地激发到一个特定的激发态或电离态，再采用物理或化学方法将激发的原子或分子和未被激发的其他同位素原子或分子分离。激光分离同位素以分离介质的物理状态来分，有原子激光法和分子激光法；以分离过程的反应性质来分，有激光物理法和激光化学法。激光分离同位素具有分离系数高、投资小、耗电少、成本低和生产规模灵活等优点。激光分离同位素的设想起源于20世纪初萌芽的光化学分离，1960年激光器被发明后，使其得以迅速发展。（撰写：张志忠　审订：应纯同）

jiguang huaxuefa fenli tongweisu

激光化学法分离同位素　laser chemical isotope separation　在激光作用下，改变目标同位素分子的化学反应速度，实现同位素分离。目标同位素分子吸收激光光子 $(h\nu)$ 后，活化能 E_a 降为 $E_a-h\nu$，因此，在与其他分子碰撞时反应速度加快，生成物中含目标同位素的成分增多，实现同位素分离。激光化学法不需要很高的激光功率。对于分离铀同位素，工作介质常选用 UF_6，尽管分离系数比较小，但设备相对简单。（撰写：王德武　审订：应纯同）

jiguang jiasuqi

激光加速器　laser accelerator　利用激光束的高电场来加速带电粒子的一类新型加速器。激光如同微波一样，是一种电磁辐射波，但它比微波具有更短的波长、更好的相干性和更高的功率密度。真空中的聚焦激光的电场强度可达1 TV/m，这比目前加速器中达到的电场约高出5个量级，若能用它来加速粒子，可使加速器梯度区的尺寸小5个数量级。关键是如何在粒子运动的方向上获得高电场分量并使之与低于光速的被加速粒子同步。为了实现激光加速，人们提出了不同机制的激光加速器，比如：光栅加速器，契伦柯夫激光加速器，厘米波高梯度加速器，拍频波加速器，逆自由电子激光加速器，双波加速器等。除以上列举的激光加速器之外，还有其他一些机制的加速器，并且随着一些新原理的出现，激光加速器概念的内涵还在扩展。（撰写：傅世年　审订：张 闯）

jiguang jubian

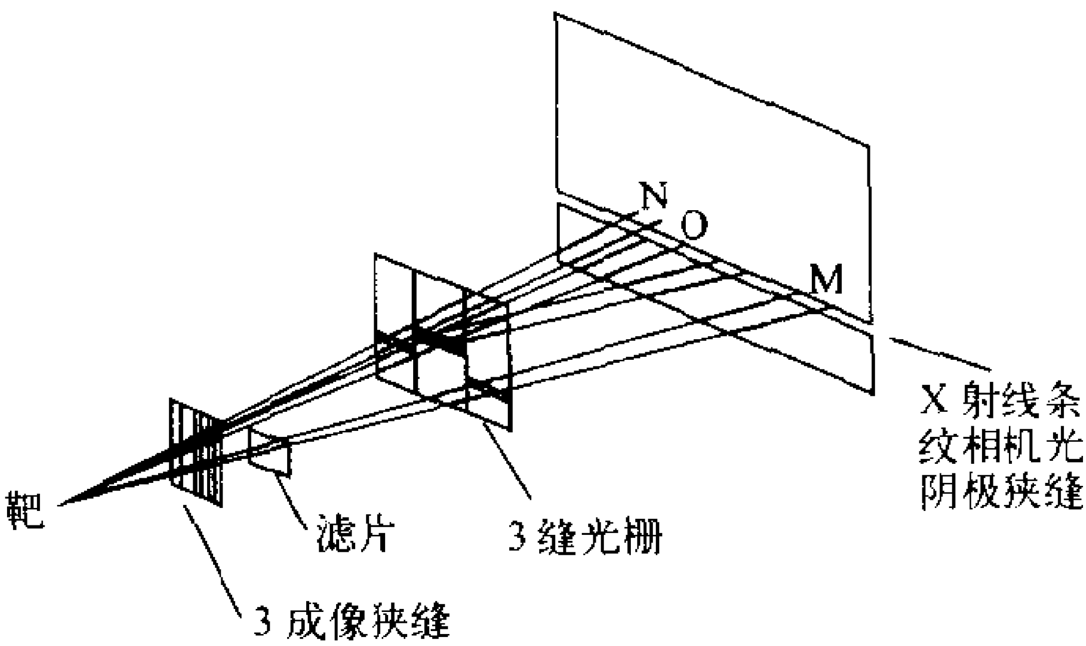
激光聚变　laser fusion　以激光作为驱动源的惯性约束核聚变。它分直接驱动和间接驱动两种方式。目前常用的驱动激光为三倍频钕玻璃激光（波长0.35 μm），辐照靶的功率密度根据不同情况为 $10^{14\sim15}$ W·cm^{-2}，脉冲宽度为几个毫微秒，并需要脉冲整形。间接驱动实现点火，所需激光能量为1～2 MJ，实现高增益估计需要5～10 MJ。直接驱动方式需要多少能量尚无定论。未来惯性约束聚变能源要求驱动器具有高效率（>10 %）和每秒几次的重复频率，目前用氙灯抽运的钕玻璃激光器达不到这个要求。可供选择的其他驱动器包括二极管抽运固体激光、KrF激光和轻、重离子束等。（撰写：张 钧　审订：常铁强）

jiguang lengque

激光冷却　laser cooling　见束流冷却。

jiguang nengliang xishou X guang zhuanhuan jiqi nengpu zhenduan

激光能量吸收，X光转换及其能谱诊断　diagnostics of laser absorption, X-ray conversion and X-ray spectrum　靶吸收的激光能量、激光转换的X光能量及谱的实验测量。采用直接测量散射激光能量或测量靶等离子体和X光能量的方法，可确定靶吸收的激光能量，给出激光吸收效率。用平响应X光二极管测量等离子体发射的软X光能量，可给出激光—X光转换效率。对于黑腔靶，X光转换效率是通过测量腔靶激光注入口漏失的X光能量、腔内辐射温度及激光吸收效率，



三色X光时空分辨测量系统示意图

结合一定的物理模型或数值模拟才能确定的。利用X光谱仪可获得等离子体发射的X光能谱分布。将具有时间分辨能力的X光条纹相机或X光分幅相机作能谱的记录系统，可以获得几皮秒至几十皮秒的时间分辨X光谱(见图)。（撰写：丁永坤　刘慎业　审订：江文勉）

jiguang qudongqi

激光驱动器　laser driver　给氘、氚热核材料靶提供激光能量，将其加热和压缩，引起热核聚变反应的大功率激光系

统。早在 1963 年科学家就指出：用激光照射核材料靶能够产生高温高密度等离子体，达到热核反应的条件。随后，一些国家便建立了高功率激光驱动器，开始激光惯性约束核聚变研究。惯性约束聚变电站要求激光脉冲重复率 5～10 Hz，总体效率大约10％。目前的固体激光驱动器主要使用钕玻璃激光器，其输出功率水平一直保持在各类激光器的领先地位，大量有关激光聚变物理研究成果都是在固体激光驱动器上完成的。固体激光器主要缺点是，采用氙灯抽运时能量转换效率低，激光脉冲重复率低。今后发展的重点是：(1) 抽运源用激光二极管替代闪光灯；(2) 激光工作物质用热导率高的晶体替代钕玻璃；(3) 用高压洁净气体冷却激光工作物质，提高激光脉冲重复率。气体激光驱动器现在主要是使用氟化氪(KrF)准分子激光器，其优点是激光波长在紫外波段、波带宽度宽、激光与靶的能量耦合效率高。(撰写：王世绩　审订：雷仕湛)

jiguang X guang zhuanhuan

激光—X 光转换　laser–X- ray conversion　激光与靶相互作用中，激光能量转换成 X 光能量的过程。被吸收的激光能量除一部分转变成靶物质的动能、热能外，还以 X 光的形式发射。实验上可以测量的是经过靶物质吸收后流到靶外的 X 光能量，因此激光—X 光转换效率可以定义为流到靶外的 X 光能量和被吸收的激光能量的比值。X 光的发射机制有轫致辐射，电子复合辐射和束缚电子能级跃迁的线发射。为了提高激光—X光转换效率，靶材料需要采用高原子序数的物质，例如金。此时主要的发射形式为线发射。在间接驱动惯性约束聚变中，激光—X 光转换是关键的一步，就是用高原子序数材料构成的黑腔实现的。（撰写：常铁强　审订：朱少平）

J

jiguang xishou

激光吸收　laser absorption　激光在传播过程中将其能量沉积在等离子体中的过程。吸收机制可概括为 3 种：(1) 逆轫致吸收。在激光电场中振荡的电子，当其与离子碰撞时振荡能量变成电子热能的经典吸收过程。它对电子密度很敏感，是短波长激光的主要吸收机制。它还对电离度敏感，它与电子温度的 3/2 次方成反比。(2) 共振吸收。平面极化激光（又称 P 极化，其电场方向平行于由激光传播方向与靶面法线方向构成的平面）斜入射时发生。它在临界面处共振激发电子等离子体振荡，并在低于临界密度区域驱动电子等离子体波，会产生高能量的超热电子。(3) 参量过程。

（撰写：张　钧　审订：常铁强）

jiguang xuanzexing jifa

激光选择性激发　laser selective excitation　激光有选择地激发工作介质中的一种同位素（目标同位素）。在激光同位素分离中，为提高选择性系数，将激光频率选为目标同位素的吸收频率，使目标同位素被激发到高能级上，非目标同位素不被激发，或很少激发，最终实现同位素分离。选择性激发是实现同位素分离的必要条件，有足够的同位素位移和合适的激光线宽则是选择性激发的先决条件。由于工作介质的物理性质不同，有的需要几步光激发，而每一步都要实现选择性激发。激光分离同位素的选择性系数可以很高，这也是它的重要特点。（撰写：王德武　审订：应纯同）

jiguang zaidenglizitizhong de chuanbo

激光在等离子体中的传播　laser propagation in plasma　激光在等离子体中的吸收、折射和散射过程。激光通常只能在密度低于临界密度的等离子体中传播。正入射激光在这一临界面处反射；斜入射时，翻转点的密度是 $n_c\cos^2\theta$，θ 是入射角。如果激光强度很高，以致于电子在激光场中的振荡速度接近光速，相对论效应将引起其质量增加，激光临界密度增加 $\gamma=(1+I_{18}\lambda^2/1.38)^{1/2}$ 倍（I_{18} 表示激光强度以 10^{18} W · cm^{-2} 为单位，λ 以 μm 为单位），激光也就能传到密度更高的地方。精确描写激光传播的方程是电磁场麦克斯韦方程，在几何光学近似下，可以用光路追踪法描述，此时，光线方向的变化正比于密度梯度。激光在传播的过程中，可以被等离子体吸收、折射和散射。（撰写：常铁强　审订：朱少平）

jizi moxing

激子模型　exciton model　描述介于直接核反应和复合核平衡态反应之间的非平衡核反应过程的一种理论模型。在复合核模型提出之后，实验发现出射中子能谱的高能部分明显高出平衡态发射能谱形状。这表明一些被入射粒子激发的能量比较高的粒子还没有来得及在核内作充分的核子碰撞并交换能量就被发射出来。其次，发射粒子角分布呈现出明显的朝前趋势，而不是平衡态理论所预言的各向同性或 90° 对称，表明有些出射粒子还存在对入射方向的记忆。另外，带电粒子的发射截面明显高于平衡态理论预言值，这也说明在未达到平衡态之前就有带电粒子发射。这些现象均表明，复合核由入射粒子在核内进行的级联碰撞过程达到完全的统计平衡需要一段时间，在这段时间内有一定数目的粒子发射出来。激子模型用核内核子间碰撞产生粒子—空穴对来描述核反应动力学过程。这种粒子与空穴被称为激子。在这种非平衡核反应过程中伴随的粒子发射称为预平衡发射。该模型可以描述由复合核平衡态理论不能描述的非平衡核反应特征。

（撰写：张竞上　审订：许谨诚）

jizaotongbao heshigu gongyue

《及早通报核事故公约》　Convention on Early Notification of a Nuclear Accident　简称《通报公约》，由国际原子能机构（IAEA）组织制定并于 1986 年 10 月 27 日生效的公约。该公约主要规定了发生超越边界释放事故时，及早通报事故情况的要求和内容。《通报公约》适用于涉及缔约国的或在其管辖或控制下的核设施或核活动的任何事故的情况。在这些事故中，发生了或可能发生放射性物质释放，并且已经导致或可能导致对另一个国家具有重要的辐射安全影响的放射性物质的超越边界释放。《通报公约》所涵盖事故的直接相关缔约国，有义务立即直接或通过 IAEA 通知到那些受到或可能受到实际影响的国家。《通报公约》规定要提供的信息，包括事故的性质，发生的时间及地点。《通报公约》还规定了应迅速提供与使放射性后果减至最小有关的信息。IAEA起到获取和传播信息的联络中心的作用。为履行该公约赋予的职责，IAEA 在其维也纳总部设立了应急响应中心 (ERC) 以便收集、核对和传送有关信息。各缔约国均应为该公约而设立联络点。IAEA 同世界气象组织 (WMO) 密切合作，利用 WMO 的全球电信系统 (GTS) 同时向各国的联络点迅速传送大量气象学和放射学数据。我国政府于 1987 年 4 月 16 日核准参加该公约。

（撰写：王　法　审订：施仲齐）

jilian

级联　cascade　为达到一定产量和同位素丰度要求而将分

离单元经过串联或并联组成的同位素分离系统。一般来说，一个分离单元的分离能力有限，无法满足分离同位素的要求。以气体扩散法为例，要将^{235}U从天然丰度0.711％提高到3％左右需要将约1000个分离单元串联起来。同位素分离级联是一个系统，除了分离单元以外，还要由很多管道将分离单元有机地连接起来，并且要有供、取物料系统。为长期稳定的保质保量工作，还需要有控制和安全系统。

（撰写：应纯同　审订：刘广钧）

jilian de feidingchangtai

级联的非定常态　unsteady state of cascade　分离级联中的参量随时间变化的情况。有不少情况，需要考虑级联的非定常态问题。比如，级联在启动时可以认为流体状态很快达到了稳态值，但级联中各处的丰度，尤其是精料丰度尚在变化。又如，当级联中有些参量发生周期性变化时，必须考虑非定常态问题。再如，级联从一种运行方案转换到另一种运行方案时，丰度分布将发生变化。对于多组分分离，有时为了分离少量昂贵的同位素可以采取非定常态取料方式。级联从启动开始直到各处丰度全部达到稳态值的过程所需的时间也称平衡时间，这一时间对于不同分离方法可以有很大差别。

（撰写：应纯同　审订：刘广钧）

jilian de neicanliang

级联的内参量　internal variables of cascade　分离级联中各个分离级的供料、轻馏分和重馏分的流量及其中相应的同位素丰度。内参量是相对于外参量而言。在定常态时，根据物料平衡方程有一定的关系式将某些级联的内参量联系起来。非定常态时，这些关系式会有所变化，比如要考虑滞留量。在处理非定常态问题时，一般认为流体参量比较容易达到稳态值。

（撰写：应纯同　审订：刘广钧）

jilian de waicanliang

级联的外参量　external variables of cascade　分离级联中供入级联和从级联中流出的流量及其中对应的同位素的丰度。以级联只有一个精料和一个贫料为例，级联尚需一个供料。供料的流量常以F表示，其中同位素的丰度是C_F（对于只有两种同位素的气体来说，一种同位素的丰度为C_F，另一种同位素的丰度就是$1-C_F$）。精料流量常以P表示，对应的精料丰度为C_P。贫料流量以W表示，对应的贫料丰度为C_W。这六个量：F，P，W，C_F，C_P，C_W就是级联的外参量。在定常态情况下，根据物料平衡方程有以下两个关系：

$$F=P+W;\quad FC_F=PC_P+WC_W$$

对于有附加供取料的情况，级联的外参量数要作相应的变化。对于多组分分离级联的外参量也要作相应的变化。

（撰写：应纯同　审订：刘广钧）

jilian lilun

级联理论　theory of cascade　研究同位素分离级联中有关分离的规律。可分为两类问题：正命题和反命题。正命题是给定级联，求分离规律，主要是指丰度变化规律及其影响因素。反命题是给定对级联的要求，比如给定同位素的丰度和产量，设计级联的参数。一般来说，正命题问题相对比较好解决，而解决反命题问题比较困难。级联理论的最主要目的是提高级联的分离效率，以最小的代价达到最终的要求。

（撰写：应纯同　审订：刘广钧）

jilian shuilixue

级联水力学　hydrodynamics of cascade　研究级联中工作介质的流体运动规律、工况的调整与控制和级联流体稳定性的学科。在铀同位素分离中，无论是气体扩散法还是离心法，级联都是由大量分离器串、并联组成。如扩散级联由数千级串联组成，离心级联则由数万台或更多离心机串、并联组成。保证这些分离器都在设计的最佳工况运行以得到最高的效率是极其重要的。保证级联中流体状况的稳定和工况变化后的调整是同位素分离工厂运行的重要任务。级联水力学分静力学和动力学两部分：静力学与同位素分离工厂运行密切相关；动力学研究扰动传播和如何消除等问题。

（撰写：蒋同远　审订：刘广钧）

jilian xiaolü

级联效率　efficiency of cascade　分离级联有效分离功率或者级联的价值增率与级联全部分离单元的分离功率的总和之比值。级联效率反映了级联中“混合损失”的多少。级联中有很多由不同管道汇合在一起的“汇合点”。当这些汇合点中无不同丰度的“混合”时，即无“混合损失”。如果所有的“汇合点”都没有“混合损失”时，级联的分离效率为100％。混合损失是将已经分离了的同位素又相混合造成的分离功率的损失，这是人们力图避免的。对于分离铀同位素来说，由于总分离功率的基数很大，即使级联效率能提高1％甚至更少，也需要努力才能达到。（撰写：应纯同　审订：刘广钧）

jidifang feiwu

极低放废物　very low level radioactive waste (VLLW)　放射性水平略高于免管废物，而又低到没有必要也不值得按低放废物进行整备和处置的放射性废物。在放射性物质操作活动中，可能产生放射性活度浓度很低的低放废物，特别在核设施退役中这类废物占很大部分。极低放废物通常可以在核设施场址范围内或附近就地处置，也可以在城市填埋场中处置。极低放废物的放射性活度浓度水平由国家审管部门制定，就地处置的条件需经审管部门认可。（撰写：孙东辉　审订：潘自强）

jihua liziyuan

极化离子源　polarized ion source　产生极化离子束的装置。极化离子源由原子束产生器、极化器和电离器3部分组成。所有极化器都是首先获得电子自旋极化原子，然后通过超精细相互作用达到核的极化形成极化原子束。它在电离过程中极化度损失很小，因而极化离子源可按极化电子的方法分类。通常分有原子束型、光学抽运型和兰姆移位型。其中光学抽运型是一种新型极化离子源。（撰写：赵渭江　审订：关遐令）

ji ling xiangxiao

极—零相消　pole-zero cancellation　在信号处理系统中，设置传输函数具有一定零点或极点的电路，用以消除输入信号的拉普拉斯变换中的某些极点或零点，从而保证系统的输出信号具有所需波形的过程。在核辐射能谱仪中，常用此办法来消除输入信号的大时间常数的零点或极点，使输出信号不具有缓慢衰减的尾部，从而减小信号尾部的堆积，提高幅度分析的分辨率。（撰写：刘杰　审订：席德明）

jixian anquan dizhen

极限安全地震　ultimate safety earthquake　核电厂设计寿期

内年超越概率为 0.1 ‰的地震，通常即定为厂区可能遭遇的最大地震，简称为SL–2，在美国称为"安全停堆地震"(safe shutdown earthquake，SSE)。极限安全地震的地面运动最大加速度，应取由"地震构造法"、"最大历史地震法"和"综合概率法"所确定的结果中的最大值。核电厂设计必须取SL–2作为设计基准地震。我国规范规定，极限安全地震的最小地面水平加速度峰值不能低于 0.15 *g*。极限安全地震实际上是一种假想的最大可能地震，对应于核电厂的极限安全要求。核电厂在SL–2作用下，必须保证能安全停堆。因此，凡为保证安全停堆和维持安全停堆状态所必需的所有构筑物、系统及部件，都必须在发生 SL–2 时及发生 SL–2 之后保持其正常功能。具体地说，这些与安全有关的构筑物、系统、设备和部件必须保证：(1) 反应堆一回路压力边界的完整性；(2) 实行安全停堆，并有维持安全停堆状态的能力；(3) 防止放射性物质外逸破坏环境的核辐射事故，或具有减轻事故后果的能力。（撰写：黄经绍　审订：张忠岳）

jixing zhaoshe

急性照射　acute exposure　短时间内受到高剂量的照射。急性照射属异常照射，往往是在发生事故时或事故后为了抢救遇险人员、阻止事态扩大或其他应急情况，有组织的自愿接受的照射或是在事故中突然受到的意外的非自愿的照射。急性照射可能超过确定性效应的阈值，甚至会引起放射损伤。受到急性照射后，应当迅速估算所受剂量的大小和可能的危害程度，以便由监护医生判断是否应送到授权的医疗机构进行处置。必要时，还可能要对受到急性照射的人员进行医学追踪观察。（撰写：张延生　审订：马吉增）

J

jizhou zhengliu

急骤蒸馏　flash distillation　利用溶剂与其降解产物的不同沸点将它们分离，以达到溶剂净化的目的的一种溶剂再生方法。但由于磷酸三丁酯(TBP)是热敏性物质，温度高于 150℃ 就开始分解，煤油在较高温度下也会发生裂解。因此，必须采用真空急骤蒸发和真空精馏的方法降低 TBP 和煤油的沸点，缩短它们在蒸发过程中的受热时间以减少热分解。该过程通常由加热器、TBP 精馏塔、煤油精馏塔和真空泵等组成。（撰写：杨鑫荣　审订：郑华铃）

jichengdianlu de fushexiaoying ji jiagujishu

集成电路的辐射效应及加固技术　radiation effect and hardening techniques of IC　辐射对集成电路的损伤机理和其加固办法。集成电路的辐射效应除考虑双极型和 MOS 型晶体管的辐射效应外，还要考虑其中的寄生元件，数字电路的单粒子效应和运算放大器的差分等。对于双极型集成电路，中子、强 γ 辐射使其隔离 PN 结产生很强的光电流和漏电流；电离辐射使寄生 NPNP 结构产生闭锁效应，加固方法有：介质隔离、平衡和补偿光电流、高剂量率辐射的光电流限制等。对于 MOS 型集成电路，电离辐射使其金属布线区内寄生场效应管产生漏电，寄生 NPNP 结构闭锁。加固方法有：提高 N 沟道晶体管的阈值电压、采用 P^+ 保护环、采用栅氧化层或场氧化层加固技术等。对于 GaAs 电路，其抗中子辐射、抗总剂量电离辐射能力较好。（撰写：倪建平　审订：赖祖武）

jisanxing kongzhi xitong

集散型控制系统　distributed control system (DCS)　利用计算机技术对生产(运行)过程进行集中监视、操作、管理和分散控制的一种新型控制技术。它是由计算机技术、信号处理技术、测量控制技术、通信网络技术和人机接口技术相互发展渗透而产生的，既不同于分散的仪表控制系统，又不同于集中式计算机控制系统，而是吸收了两者的优点，在它们的基础上发展起来的一门系统工程技术，具有很强的生命力和显著的优越性。概括起来，集散型控制系统由集中管理部分、分散控制监测部分和通信部分组成。集中管理部分又可分为工程师站、操作站和管理计算机。工程师站主要用于组态和维护，操作站用于监视和操作，管理计算机用于全系统的信息管理和优化控制。分散控制监测部分按功能可分为控制站、监测站或现场控制站，它用于控制和监测。通信部分连接集散型控制系统的各个分布部分，完成数据、指令及其他信息的传送。集散型控制系统软件是由实时多任务操作系统、数据库管理系统、数据通信软件、组态软件所组成。使用组态软件这一工具，就可生成用户所要求的实用系统。（撰写：赵善德　审订：孙玉发）

jiti dangliang jiliang

集体当量剂量　collective equivalent dose (S_T)　对一给定辐射源受照群体，组织 T 的集体当量剂量由公式(1)定义

$$S_T = \int_0^\infty H_T \frac{dN}{dH_T} dH_T \qquad (1)$$

式中 $\frac{dN}{dH_T}dH_T$ 为接受的当量剂量在 H_T 到 H_T+dH_T 之间的人数。该定义也可用公式(2)表示

$$S_T = \sum \overline{H}_{T,i} N_i \qquad (2)$$

式中 N_i 为接受的平均器官当量剂量为 $\overline{H}_{T,i}$ 的第 i 组人群的人数。该集体量的单位为人·希沃特(人·Sv)。

（撰写：董柳灿　审订：潘自强）

jiti dangliang jiliang fudan

集体当量剂量负担　collective equivalent dose commitment (S_c)　对指定的群体来说，由于某一给定的事件、决策或实践所产生的在时间上持续进行的照射，集体当量剂量率 $\dot{S}_T$ 的无限长时间内的积分，即

$$S_c = \int_0^\infty \dot{S}_T(t) dt$$

该集体量的单位为人·希沃特(人·Sv)。

（撰写：董柳灿　审订：潘自强）

jiti jiliang

集体剂量　collective dose　对于一个给定的群体，群体内平均每个成员的剂量与该群体内成员数的乘积，其中用以确定剂量的器官要加以规定。该集体量的单位为人·希沃特(人·Sv)。集体剂量是在效应与剂量成正比这一假设下，定义一个简单的量以量度一个给定的群体所接受的总的辐射照射。该群体中每个成员接受的剂量是以一个平均值给出的。实际上，该群体中某一部分成员所接受的剂量可能较高，而按该集体量的定义体现不出该部分成员可能遭受较大的辐射危害，因此应当将集体剂量分成几段，分别计算出个人剂量处于指明范围内的各段集体剂量。（撰写：董柳灿　审订：潘自强）

jiti moxing

集体模型　collective model　又称综合模型。把核的集体运

动和单粒子运动结合起来的核结构模型。它认为原子核除了核内核子的单粒子运动外，还存在着由大量核子参加的集体运动，即集体转动和集体振动。

对于有明显形变的原子核，集体转动是主要的集体运动。以长椭球轴对称形变核为例，核的平均势场具有方向性、即长主轴方向。当势场的方向在空间发生变化时，集体模型认为原子核发生了集体转动。描写集体转动的理论模型是多种多样的，主要有：推转壳模型和玻尔—莫特尔森（BohrMottelsson）模型。对于形变很小的核，集体振动为主要的集体运动。这种振动是指原子核在平衡形状附近作振荡。假定核物质是不可压缩的，则在振动过程中，核的体积保持不变，因而，集体振动可以看成是体积不变而形状变化的表面振动。一般地讲，形变原子核往往同时具有集体转动和集体振动，在每一个振动能级上，往往有一列转动能谱。

（撰写：许甫荣　审订：卢希庭）

jiti youxiao jiliang

集体有效剂量　collective effective dose (S)　对一给定辐射源，受照群体的集体有效剂量 S 由公式 (1) 定义

$$S = \int_0^\infty E \frac{dN}{dE} dE \tag{1}$$

式中 $\frac{dN}{dE}dE$ 为接受的有效剂量在 E 到 $E+dE$ 之间的人数。该定义也可用公式 (2) 表示

$$S = \sum \bar{E}_i N_i \tag{2}$$

式中 N_i 为接受的平均有效剂量 $\bar{E}_i$ 的第 i 组人群的人数。该集体量的单位为人 · 希沃特（人 · Sv）。

（撰写：董柳灿　审订：潘自强）

jiti youxiao jiliang fudan

集体有效剂量负担　collective effective dose commitment ($S_{E,c}$)　对指定的群体来说，由于某一给定的事件、决策或实践所产生的在时间上持续进行的照射，集体有效剂量率 $\dot{S}_E$ 在无限长时间内的积分，即

$$S_{E,c} = \int_0^\infty \dot{S}_E(t) dt$$

该集体量的单位为人 · 希沃特（人 · Sv）。

（撰写：董柳灿　审订：潘自强）

jizhong xinxi chuli jisuanji

集中信息处理计算机　plant processing computer system　采集全厂信息并按要求加以处理的计算机系统。集中信息处理计算机采集全厂的运行信息，包括正常运行、发生事故和事故后的各种信息，进行储存、处理、记录、报表打印以及报警。操纵员可通过人机接口，调出需要的参数历史数据和画面，用来分析全厂的运行情况，以了解全厂尤其是反应堆的运行状态。除上述以外，它还可协助堆芯中子注量率分布的定期测量和对数据的处理。目前世界上运行的商用核电厂或者各种试验反应堆几乎都装有这样的计算机系统。

（撰写：赵善德　审订：孙玉发）

jihe anquan

几何安全　geometrical safety　指在含易裂变材料的系统中，依靠设备的形状、尺寸或几何布置使自持核链式反应在所有可能情况下都不可能发生。在保证核安全的临界控制的各种方式中，几何安全是利用物料和设备的固有特性，而较少依赖行政管理，从而减少人员失误造成临界事故的可能性，因而应是优先考虑的设计标准。一般来说，溶液体系较适宜用几何安全；金属体系通常不用几何安全；就操作量来说，几何安全适用于大于临界质量许多倍的操作。采用几何安全时，应保证几何安全设备中的物料安全地向非几何安全设备的转移。要经常检查满足几何安全相应的周围条件是否发生不利于临界安全的变化。在处理易裂变材料溶液时，优先考虑的临界控制方法是设计几何安全容器，由于按几何安全设计的容器中子漏失很多，因此不论容器中装有多少易裂变物质均可保持次临界。如果几何安全容器的状态保持完好，就用不着进行进一步的临界控制。在确定容器的永久安全尺寸时，必须考虑邻近中子反射体的反射作用和周围容器可能产生的中子相互作用，因为这些因素可使孤立单元的几何安全尺寸减小。对于成品燃料元件的贮存，可设计一种几何安全的贮存方式，例如按安全平板阵列贮存钚燃料组件的方法，在发生水淹时也可保持次临界。

（撰写：陈明竣　审订：胡遵素）

jihe jianruo

几何减弱　geometrical attenuation　由于距离因素（通常指受照者或参考点与辐射源的距离）而使辐射场强度的减弱。各向同性点源在无吸收和无散射介质中，辐射场特征量（如注量、能注量、照射量等）的变化与源至参考点（计算点或测量点）距离平方成反比。辐射场强度由于距离因素而变化的几何减弱，在外照射辐射防护中常作为主要的防护方法之一（距离防护），被广泛应用。

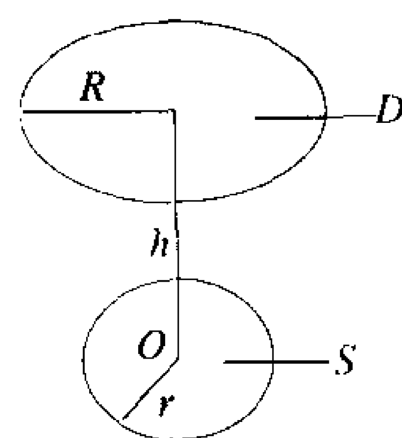
（撰写：徐明达　审订：陈明竣）

jihe yinzi

几何因子　geometry factor　又称计数几何（条件）。探测器的窗或灵敏体积对源所张的相对立体角。在无吸收、无散射介质中，由点源发出的射线进入探测器窗或灵敏体积的概率 G 为

$$G = \Omega / 4\pi$$

式中 Ω 为窗或灵敏体积对该源所张的立体角。G 完全由几何条件决定，称为几何因子。对非点源，可视作由大量不同位置的点源组成，其几何因子为各点源的几何因子按其活度加权的平均值。它与源的形状及其大小、探测器的窗或灵敏体积的形状及大小，以及源与探测器之间的相对位置有关。设探测器的窗 D 和均匀面源 S 的半径分别为 R 和 r，距离 h，同轴、平行放置（见图），则其几何因子 G 由下式表示：



圆窗和面源位置图

$$G \approx 0.5\left\{1 - \frac{1}{(1+a)^{1/2}} - \frac{3}{8}\frac{ab}{(1+a)^{5/2}}\right\}$$

式中 $a = \left(\frac{R}{h}\right)^2$，$b = \left(\frac{r}{h}\right)^2$。对于点源 O，上式简化为

$$G \approx 0.5\left\{1 - \frac{h}{(h^2+R^2)^{1/2}}\right\}$$

（撰写：徐明达　审订：陈明竣）

jishuibeng

给水泵 feedwater pump 为产生蒸汽以驱动汽轮机做功而向核蒸汽供应系统提供给水的设备。压水堆核电厂的给水泵分为主给水泵和辅助给水泵(应急给水泵)。在核电厂正常运行时，用主给水泵向蒸汽发生器供水。主给水泵一般带有前置泵，以增加入口压头，防止汽蚀。主给水泵由电动机或汽轮机驱动。在全厂断电等事故工况下，要用应急给水泵向蒸汽发生器供水，带走反应堆的衰变热。应急给水泵必须满足冗余性和多样性准则的要求。通常设置两台电动泵(2 × 100%)和一台或两台汽动泵(或柴油机驱动泵)。电动泵由核电厂的应急柴油发电机组供电。在新一代压水堆核电厂的设计中，另外设置一台启停堆给水泵。该泵除了用于正常的启堆和停堆操作外，在全厂断电事故(失去全部交流电)时可向蒸汽发生器供水。启停堆给水泵的电机由核电厂非 1E 级的替代交流电源供电。 (撰写：张维忠 审订：杜圣华)

jishui tiaojie xitong

给水调节系统 feedwater control system 通过调节给水流量将蒸汽发生器水位维持在设定范围内的系统。蒸汽发生器水位过高会影响汽水分离器的分离效果，使蒸汽湿度增加；水位过低则不利于蒸汽发生器二次侧的水循环，因此蒸汽发生器水位必须经常调节。反应堆低功率运行时采用蒸汽发生器水位单冲量加堆功率动态补偿来调节给水流量。提升功率后自动切换为水位、给水流量、蒸汽流量三冲量调节。每台蒸汽发生器各有其独立的给水调节系统，每个系统各有两套相同并独立的控制线路，择一使用。为了在功率变化的全程中给水系统都能有良好的调节特性，选用了旁路给水调节阀和主给水调节阀自动切换的调节方式。即低功率下用旁路给水调节阀控制水位，提升功率后则由主给水调节阀控制。

(撰写：杜圣华 审订：张维忠)

jishui zhengqi huilu

给水—蒸汽回路 feedwater–steam circuit 反应堆动力装置内产生蒸汽以驱动汽轮机做功的汽水循环系统。对于压水堆又称为二回路系统；对于三个回路的钠冷堆，是指第三回路的循环系统。对于直接循环的沸水堆，则是核蒸汽直接进入汽轮机做功。压水堆核电厂的二回路具有产生蒸汽用于发电的功能；还具有隔离功能，即把与核燃料元件直接接触而带有放射性的反应堆冷却剂限制在压力边界内，使其不污染蒸汽和给水。构成给水—蒸汽回路的主要系统有主蒸汽和抽汽系统、给水和凝汽系统、化学制剂添加系统、凝结水补给和净化系统、辅助蒸汽系统等。 (撰写：罗守仁 审订：张维忠)

jihuawai paifang

计划外排放 non-plan release 有组织排放之外的排放，包括正常工况下的计划外排放和在事故工况下的计划外排放。对于正常工况下的计划外排放虽不至引起严重的环境后果，但一定要分析造成这种排放的原因，按此对工艺及排放系统进行改造，使之纳入可控的排放之列。对于事故工况下的计划外排放，这种排放是在事先的计划之外，甚至排放系统失效，或不经预设的排放系统，其后果有可能导致大量放射性物质进入环境，引起环境污染。对于计划外排放特别是事故情况下的排放，需要认真分析出现这种排放的可能性以及相应的后果，事先要制定好防护对策和预案，对于核设施应设置适当距离的规划限制区，以便缓解计划外排放的影响。对于存在可能导致严重环境后果的计划外排放，营运者一定要制定相应的应急计划，并安排必要的环境监测。 (撰写：赵亚民 审订：潘自强)

jishulü biao

计数率表 counting ratemeter 又称计数率仪，是一种能够直接显示输入脉冲的计数率的仪器。计数率表的通用工作原理为脉冲信号经过整形电路的整形，变成适于频率—电压变换的信号后，再通过频率—电压变换器送到显示器，按照一定的函数关系显示平均计数率。若显示器刻度与输入脉冲的计数率成正比，称为线性计数率表；若刻度与计数率的对数成正比，则称为对数计数率表。

(撰写：李君利 曾志 审订：席德明)

jilu shuiping

记录水平 recording level 对辐射防护实践中测定的量所规定的水平，当达到或超过这个水平时要求记录有关数据。记录水平通常是按照剂量当量或摄入量来规定的值，若超过此水平，监测的结果具有记录和保存的价值。另外，ICRP 还建议若监测的结果均在记录水平以下时仍可将监测结果记录到个人剂量档案。ICRP 曾建议个人监测的记录水平应为年限值的 1/10 乘以进行个人监测周期所占全年工作时间的份额。ICRP 在提到监测的其他目的时还指出，有时使用比推荐的记录水平低的水平也可能是正当的。其理由为，例如集体剂量的计算以及最优化分析有时需要保存记录，对个人来说，因涉及赔偿时需要，也有必要妥善保存记录。实际上，高于最低探测限的测量结果均宜记录和存档。

(撰写：马吉增 审订：张延生)

jiyi chongfa

记忆重发 memory replay 将采集到的数据暂存在遥测系统的弹上存储设备中，在预定时间按程序再将数据发送出来的一种技术。需要采用这种技术的理由有：(1) 由于再入黑障区的存在不能及时发送信号，这是最主要的；(2) 为了减少地面遥测站的数量，将需要传输较少信息量的区段的信息连同信息发生的时刻一一暂作储存容后统一发出。为了区分这两种不同情况，后者可称为全程记忆重发，而前者称为黑障区记忆重发。黑障区记忆重发由于信息量较大而重发时间短暂，常需采用慢记快发即数据压缩的方式。另外重发起始时间往往由于再入弹道受再入攻角和气象变动的影响而难以准确确定，所以只能采用边记边发(因重发通道是分开设置的)方法。

(撰写：俞大光 审订：王铁铮)

jishufanghuxitong de duochongxing

技术防护系统的多重性 technical defend system redundancy 实物保护系统中的探测系统、报警系统、监视系统、通信系统等，同时设置的多种相同功能的、互相独立的手段。其目的是为了提高这些技术保护系统的可靠性和有效性，提高该系统抗破坏的能力。例如，在重要地点，设置了两套以上的互相独立的闭路电视监视系统；在一些实物屏障处，设置多套的探测系统等。这样，在一套手段对情况分析不清时，往往可以用多个系统得到的结果互相印证，提高结果的可靠性和有效性。另外，在特殊情况下，非法入侵者有可能采取某种反探测手段，在有多重性保护的情况下，非法入侵者更难逃过多个系统的探测。

(撰写：薛伟贤 审订：董柏年)

jishufanghuxitong de duoyangxing

技术防护系统的多样性 technical defend system's diversity 实物保护系统中的探测系统、报警系统、监视系统、通信系统等同时设置多种有类似功能的、使用不同技术的手段。目的是为了提高这些技术防护系统的可靠性和有效性，提高该系统抗破坏的能力。例如，在重要地点，在一些实体屏障处，同时设置微波墙、应力探测、感应探测等的几种探测技术的系统。这样，在一种技术探测结果对情况分析不清时，往往可以用其他技术探测得到的结果互相印证，降低了误测概率，提高结果的可靠性和有效性。另外，在特殊情况下，非法人侵者有可能采取某种反探测手段，但在有多样性防护的情况下，他们很难同时避开几种技术的探测，因而提高了防护系统的有效性。（撰写：薛伟贤 审订：董柏年）

jishu guigeshu jishu tiaojian

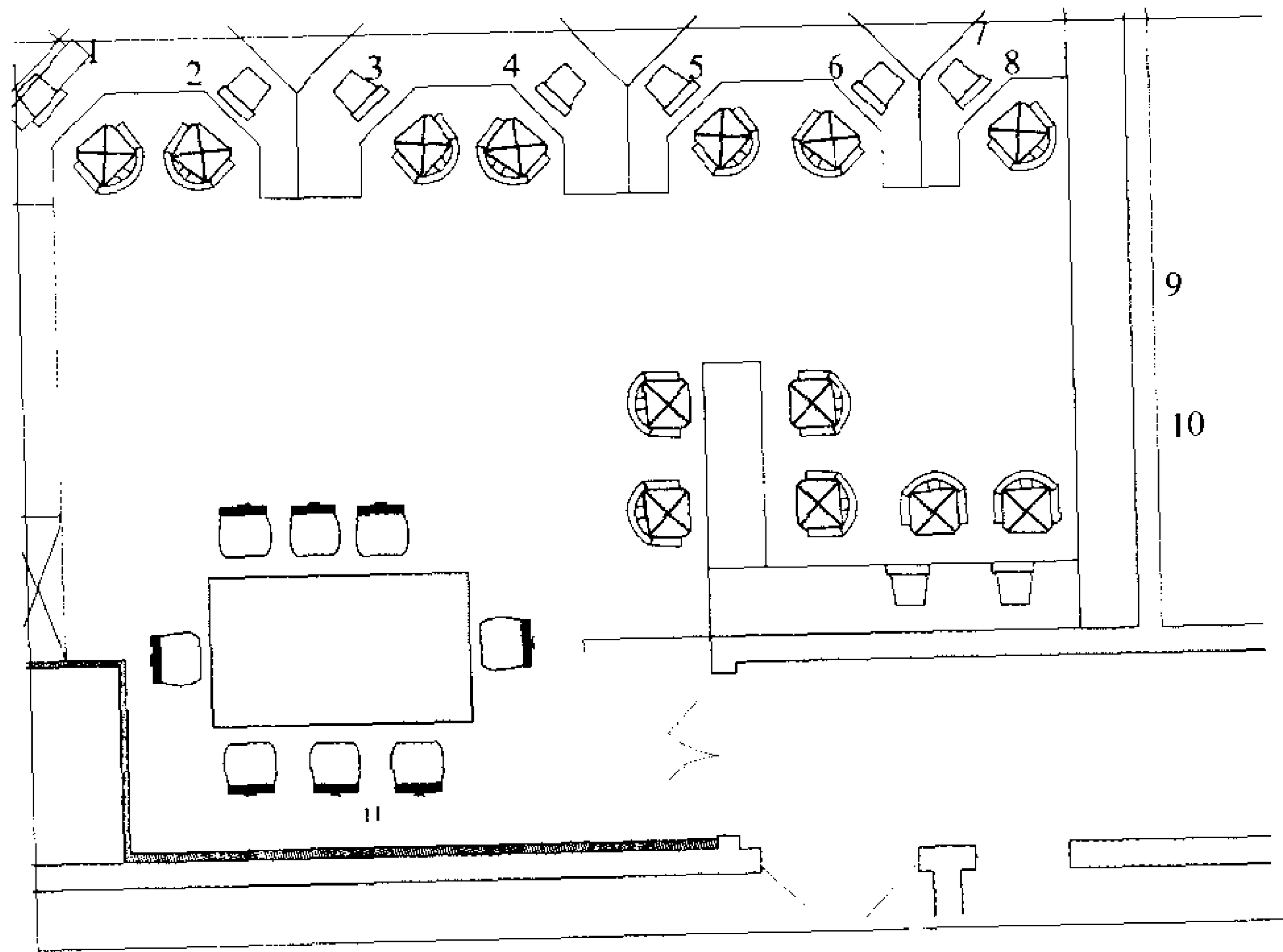
技术规格书（技术条件） technical specifications 一种书面规定。说明产品、服务、材料或工艺必须满足的要求，并指出确定这些规定的要求是否得到满足的程序，是授权核设施运行的国家核安全监管部门许可证要素之一。技术规格书明确规定核设施运行要求，如安全限值，安全系统整定值，控制整定值，运行限值，监督要求，设计特性和管理控制等。

（撰写：王秀清 审订：俞尔俊）

jishu zhichi zhongxin

技术支持中心 technical support center 核设施营运单位建立的用于在应急状态下为应急指挥和运行操作人员提供技术支持的设施，给技术支持负责人及其他支持人员使用的场所，进行技术分析、指导运行、通信联络及其他各项指定的应急功能。在应急设施中，技术支持中心的功能侧重于应急状态下的机组状态分析、事故诊断和预测以及事故后果评价，具体包括运行操作监督与评价并提供运行技术支持，诊断和预测机组状态并提供事故处理的技术支持，评价事故后果或潜在后果并提供辐射防护行动建议。有些营运单位的技术支持中心还具有环境监测、现场辐射防护和设备维修的支持等功能。为了协助技术支持人员实现其功能，技术支持中心具有获取机组状态分析和事故后果评价所需参数的能力，实施机组状态分析和事故后果评价的计算和评估手段以及与应急指挥部和其他应急响应组织、外部技术支持组织直接通信的设施。此外，技术支持中心同时配备有各种工程技术文件。如图所示为广东大亚湾核电厂技术支持中心平面图，它与应急指挥中心在同一建筑物内，与其他应急中心相邻但具有独立的空间。

（撰写：陈德淦 杨玲 审订：施仲齐）



广东大亚湾核电厂技术支持中心平面图

1—悬挂显示屏；2—机组状态参数；3—悬挂资料柜；4—机组状态诊断和预测；5—气象参数；6—事故后果评价；7—悬挂资料架；8—环境剂量率监测参数；9—文件柜；10—资料柜；11—地图

ji'anyan cuiqufa

季铵盐萃取法 extraction with quaternary ammonium compound 用季铵盐作萃取剂从水溶液中分离回收金属的方法。季铵盐是一种碱性较强的胺类萃取剂。它是三烷基甲基胺的氯化物，15℃以下呈膏状，在稀释剂煤油中的溶解度较小，必须加一定量的脂肪醇才能溶解。由季铵盐、脂肪醇和煤油组成的有机相在使用之前要进行转型，即将季铵盐分子中的氯根交换成待提取金属离子水溶液中的阴离子形态，比如碳酸盐型、氢氧根型。季铵盐萃取能力强，选择性好，既可以在酸性介质中，也可以在碱性介质中分离萃取金属，因而使它在溶剂萃取中占有独特的地位。季铵盐萃取法已用于锕系、镧系元素的分离。（撰写：程光荣 审订：牛玉清）

jiliang

剂量 dose 某一受体所接受或吸收的辐射的一种量度。根据上下文，它可以指吸收剂量、器官剂量、当量剂量、有效剂量、待积当量剂量或待积有效剂量。当无须明确说明具体量时，常常可以省略前面的限制词，而简称为剂量。（撰写：潘自强）

jiliang dangliang

剂量当量 dose equivalent (H) 组织中某点处的剂量当量 H 是 D 和 Q 的乘积，即公式 (1) 给出

$$H = QD \tag{1}$$

式中 Q 为辐射的品质因数；D 为该点处的吸收剂量。剂量当量 H 的单位为焦耳每千克（$J \cdot kg^{-1}$），专用单位名称为希沃特（Sv）。以往的剂量当量的定义中还包括一个其他修正因数的乘积 N。剂量当量这个量仅用于常规辐射防护，不适用于高水平照射如辐射事故照射情况下的数值估算。在组织中某点处的剂量当量 H 也可由公式 (2) 给出

$$H = \int_L Q(L) D_L \mathrm{d}L \tag{2}$$

式中 $Q(L)$ 为传能线密度 L 的粒子品质因数；D_L 为在该点处的吸收剂量按传能线密度 L 的谱分布。

（撰写：董柳灿 审订：潘自强）

jiliangji

剂量计 dosimeter 又称剂量仪。测量吸收剂量或当量剂量大小的辐射测量装置。习惯上把小型的、无源的这类装置称为剂量计，反之称为剂量仪，但这种区分并不严格。这种装置的基本构成包括对辐射敏感的探测器部分，以及具有对探测器的输出信号进行收集、处理、记录和显示等功能的电子学单元两大部分。根据用途、测量辐射种类等的不同可以构成各种不同种类的剂量计。按用途不同，可以分为固定式剂量计、可携式剂量计以及个人剂量计。按监测的辐射类型不同，可以分为X射线剂量计，γ射线剂量计或β，γ射线剂量计，以及中子剂量计等。经过精密设计和刻度的剂量计可以使其读数以吸收剂量或当量剂量的某种合适的单位给出。剂量计的基本技术指标主要包括：可测射线的种类及其能量

范围、读数的能量依赖性和方向依赖性、剂量测量范围、测量结果的处理和显示能力、使用条件、体积及重量等。

（撰写：夏益华 审订：胡遵素）

jiliangl̈uji

剂量率计 dose ratemeter 又称剂量率仪。测量单位时间内所产生的吸收剂量或当量剂量的辐射测量装置。

（撰写：夏益华 审订：胡遵素）

jiliang xiangying quxian

剂量—响应曲线 dose-response curve 以某一刺激剂量（如辐射剂量、抗原剂量）变数为横坐标，以与相应剂量所产生的效应为纵坐标而得到的剂量与效应之间的关系曲线。在放射免疫分析中则体现为表征待测抗原浓度与标记抗原、待测抗原和抗体的竞争结合率之间的函数关系的曲线。该曲线是放射免疫分析的定量依据。（撰写：王荣福 审订：吕延晓）

jiliang yueshu

剂量约束 dose constraint 对源可能造成的个人剂量所规定的一种上界值。它是源相关的，被用作对所考虑的源进行防护与安全最优化时的约束，以缩小可能存在于个人之间的利害不公平。对于职业性照射，用于限制最优化过程所考虑的各种选择的范围。对于公众照射，它是公众成员从任何受控源的计划运行中接受的年剂量的上界。剂量约束所指的照射是指关键人群组，在受控源的预期运行过程中，经所有照射途径接受的年剂量之和。对每个源的剂量约束值应保证关键组内所受的来自所有受控源的剂量之和保持在剂量限值之内。对于医疗照射，除了用于为医学目的而受照的人员或协助照顾、看护、安慰受照病人的人员（不属于工作人员）的防护最优化的剂量约束外，剂量约束值应被视为指导水平。在应用剂量约束概念时，应注意剂量约束不是限值，而是衡量是否达到良好实践要求的最低标志。剂量约束是事先规定的一个值，不是回顾性的。（撰写：杨华庭 审订：张延生）

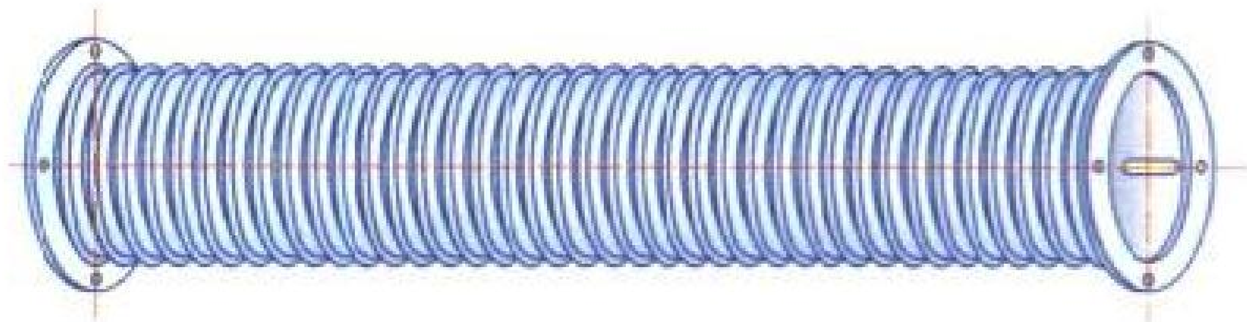
jiabei shijian

加倍时间 doubling time 通过燃料增殖使易裂变核素的数量比初始装载量增加一倍所需的时间，通常以年为单位。假如把增殖过程中所产生的易裂变核素不断地从反应堆中取出并贮存起来，直到累积了足够多的数量之后，再用作另一反应堆的初装料，这时的加倍时间称为简单加倍时间，或称线性加倍时间。显然，这种运行方式是不经济的，生产出来的易裂变核素没有立即加以利用。考虑另一种极端情况，假定生产出来的易裂变核素可以连续不断地从反应堆中取出，及时地装入新的反应堆加以利用，并使其继续增殖，这时易裂变核素的增长将以类似于复利的方式增长，这是在理想情况下所可能达到的加倍时间的下限，称为指数加倍时间。考虑到生产核燃料有很长的处理过程，实际的加倍时间要长得多。

（撰写：吴树人 审订：单文志 许汉铭）

jiasuguan

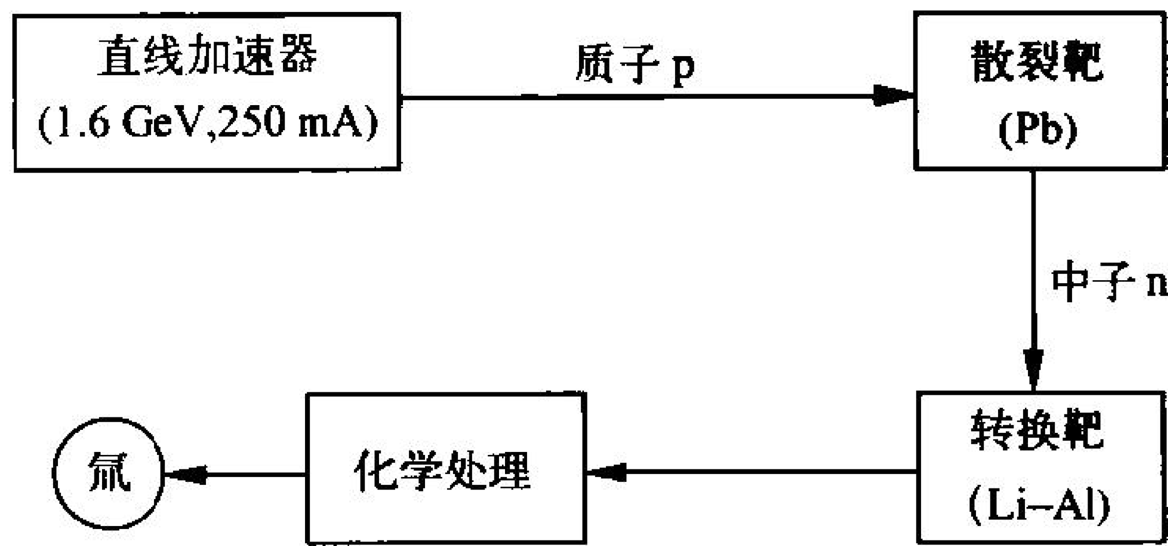
加速管 accelerating tube 高压型加速器中直接对带电粒子实现加速以提高能量的设备（见图）。加速管的结构是由许多段绝缘环与金属电极片交替封接与焊接而成的。电极的形式分平板电极和碟形电极两种。加速管的关键指标是其耐压水平。加速管的耐压受到加速管内真空击穿的限制。这种真空击穿包括场致发射、微粒子撞击、微放电和绝缘体表面击穿等过程。加速管的耐压特性还受到全电压效应和电子负载效应的限制。目前，使用最广泛的、用以抑制次级电子的产生和倍增，克服长管耦合效应的加速管结构有小孔径加速管、平面斜场加速管和螺旋斜场加速管等。（撰写：关遐令 审订：王传英）



加速管全貌

jiasuqi chanchuan

加速器产氚 accelerator production of tritium (APT) 利用中能强流质子加速器产生的散裂中子与 ^{6}Li 或 ^{3}He 原子核作用生成氚（T）的一种新技术。氚以半衰期为 12.3 年衰变为 ^{3}He。因此，有核国家总是要不断生产氚以补充战略贮备。最初的 APT 系统概念如图所示



最初的 APT 系统概念

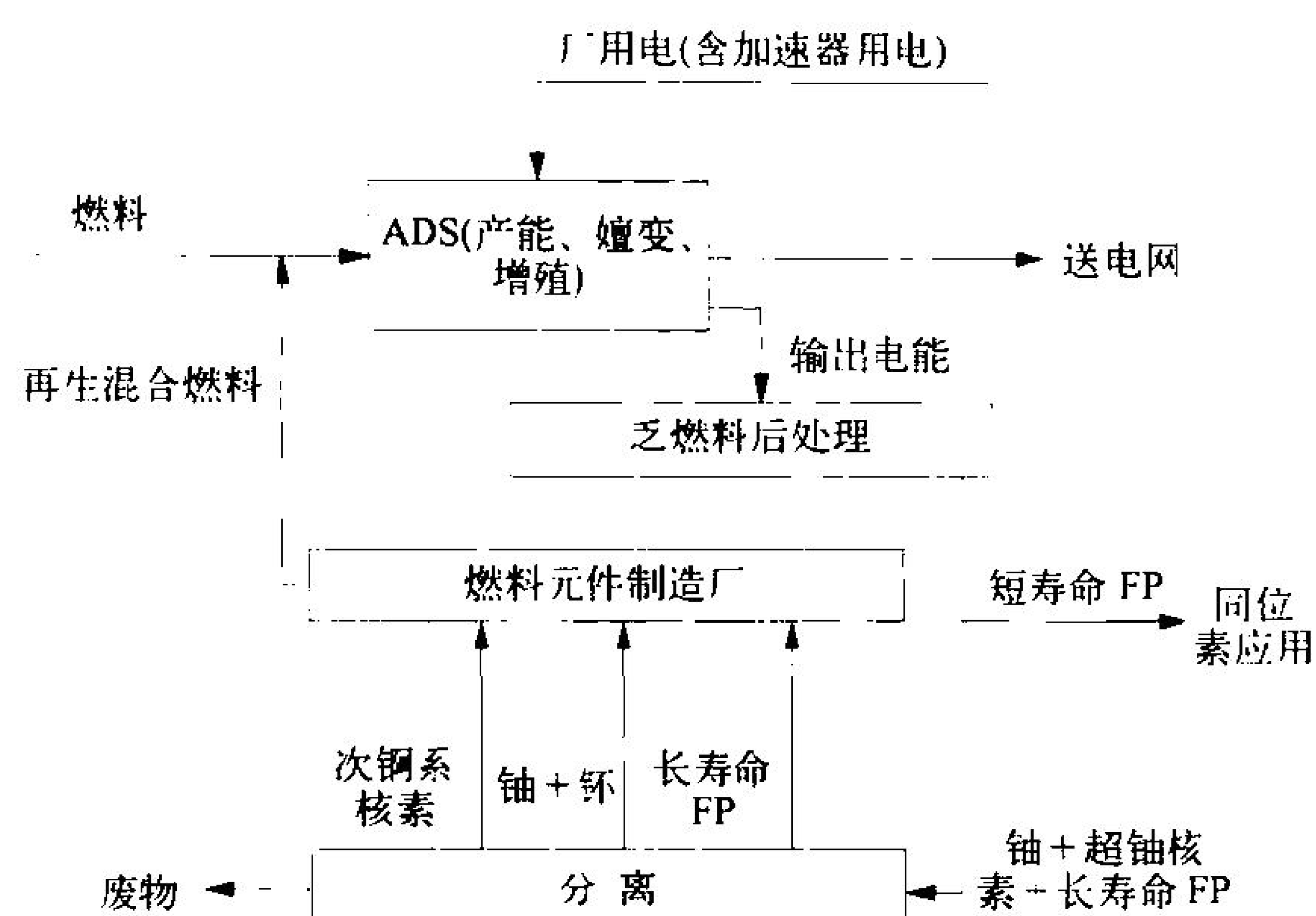
其中散裂靶产生的中子，经过慢化与 Li–Al 合金转换靶相作用，通过 ^{6}Li(n, α)T 反应产生氚。

Pb 与 Li–Al 分别做成细棒，混合组装在有冷却水的靶装置中，最后用化学处理从辐照后的 Li–Al 细棒中提出氚。APT 的研究开发大大促进了中能强流质子直线加速器技术的发展。

（撰写：罗璋琳 审订：丁大钊）

jiasuqi qudong cilinjie fanyingdui xitong

加速器驱动次临界反应堆系统 accelerator driven subcritical reactor system 由中能强流质子加速器与次临界反应堆构成的新型核能系统，简称 ADS。ADS 是利用中能强流质子加速器产生的散裂中子源驱动次临界反应堆，以维持其链式反应，从而获得裂变能的一种构想。与现在运行与开发中的各种类型临界堆、核能系统在原理上的不同在于：(1) 具有不同中子经济学行为，在扣除维持链式反应、泄漏及各种寄生吸收中子外，ADS 比临界堆可有更多的中子余额用来转换核燃料或嬗变长寿命核废料；(2) 临界堆依靠限制超临界反应性小于缓发中子份额来实现临界安全控制，而 ADS 本来就是深次临界的。它还可以依靠在几十微秒内切断质子束流而中止链式反应，为临界安全控制提供新的可能性。ADS 产能、转换核材料及嬗变核废料的能力与外中子源强度和次临界反应堆有关。在合理选择次临界堆的条件下，可以达到 80% 的电力上网，同时一台 ADS 每年可以嬗变同功率的 10 台压水堆年产的长寿命核废料；或在 80% 电力上网的条件下，大大缩短核燃料的加倍时间。如果把 ADS 与核燃料后处理厂和燃料元件厂结合，可以构成准封闭式的核燃料循环，产生



ADS 流程示意图

的高放废物只有一般压水堆的百分之一量级，成为“放射性洁净”的核能系统，如图所示。

（撰写：罗璋琳　审订：丁大钊）

jiasuqi qudong shanbian hefeiliao jishu

加速器驱动嬗变核废料技术　accelerator driven transmutation technology of nuclear waste　用加速器产生的粒子束（中子或γ射线）轰击长寿命的核废料核素，使它们嬗变成短寿命或稳定核素的一种新技术，国际上称 ADTT。核化学工作者常把乏燃料中长寿命核素分离后嬗变的流程称分离—嬗变（P–T）技术。核电厂卸出的乏燃料中含有一定数量的次锕系核素及多种长寿命裂变产物，这是将造成对生物圈有潜在危害的核废料。随着核能的开发利用，其积累量不断增加，对它们妥善最终处置方案将直接影响核能的可持续发展。到20世纪 90 年代中期，国际核科技界已共同认识到利用加速器驱动的次临界反应堆系统嬗变核废料是可能取得实际应用的途径。在一些核电发展程度较高的国家，均制定了各自建造原理验证（或示范）装置的研究、开发计划。

（撰写：罗璋琳　审订：丁大钊）

jiasuqi shengchan tongweisu

加速器生产同位素　accelerator produce isotope　放射性同位素的生产主要利用反应堆和加速器，反应堆利用中子核反应生产丰中子同位素，它们大多数是 β^- 衰变或γ辐射体。加速器则是利用带电粒子核反应，目前主要按同位素使用要求，利用加速器所产生的强流质子束轰击不同的靶，生产缺中子同位素，它们大多数是发射γ射线或正电子。加速器和反应堆所生产的同位素可以互补。加速器生产同位素的特点是灵活方便，可生产短寿命的同位素，加速器可直接安装在医院服务于临床。这些同位素寿命短，应用在诊断和治疗上，患者受到的剂量小而安全，用量可以相对的大而增大信号，可获得高分辨率的图像。由于能量单一，可以使定位准确，又可在短时间内重复使用。这些同位素可有高的放射性比度、无载体。加速器可以生产与生物机体或人体组织成分相近的正电子放射性同位素，如 ^{11}C, ^{13}N, ^{15}O 和 ^{18}F 等，其成像反映了生物体的新陈代谢过程，形成了多功能性图像，这是其他同位素所代替不了的。　（撰写：赵葵　审订：樊明武）

jiasuqi zhipuji

加速器质谱计　accelerator mass spectrometer (AMS)　又称加速器质谱仪。用粒子加速器提高离子能量的方法实现超高灵敏度的质谱装置。依所用加速器种类的不同可分为串列加速器质谱计、回旋加速器质谱计和直线加速器质谱计。主要用于测量 ^{14}C, ^{10}Be, ^{26}Al, ^{36}Cl 及 ^{129}I 等宇宙成因放射性核素在样品中的含量，在考古学、地球科学、环境科学、生命科学与核物理学中被广泛用作为测年或示踪的手段。也可用于测量稳定核素的含量，特别是与二次离子质谱的方法相结合，用于材料科学与矿物学的研究。加速器质谱计一般由离子源、注入系统、加速器、高能分析系统、粒子探测器、数据获取系统与控制系统组成。离子能量的提高使散射截面减小，同时可采用多种方法抑制同量异位素干扰，并可采用有效的探测手段，从而使放射性同位素与稳定同位素比值的检测灵敏度达到 10^{-15} 量级。　（撰写：郭之虞　审订：关遐令）

jiaya jinchu

加压浸出　pressure leaching　在加温加压条件下用酸或碱溶液从矿石中浸出铀的一种方法。方法的选用取决于铀在矿石中的存在形式。在常规条件下难浸矿石，根据温度对反应速度、反应平衡的影响，增加浸出压力，以提高反应温度。这种方法可以加快反应速度，提高浸出率，节约试剂。当矿石中含有足够量的硫化物时，在加大氧分压条件下，可将其转化成硫酸和硫酸亚铁。随后，亚铁被氧化成高铁。它又是氧化四价铀的理想氧化剂。由此又发展为加压水浸（又名加压自氧化浸出）。它可在高温高压下除氧（或空气）以外不加任何试剂。加压碱浸可分为碳酸钠加压浸出和碳酸铵加压浸出。碳酸钠加压浸出比常压浸出铀的浸出率高，浸出时间短，可节省氧化剂。碳酸铵加压浸出可利用碳酸铀酰铵直接分解得铀氧化物，而氨和二氧化碳可回收利用。

（撰写：夏润身　审订：赵锡熊）

J

jiacengbing moxing

“夹层饼”模型　layer cake design　在苏联探索氢弹设计原理初期，1848 年 9～10 月间由 A.Д萨哈罗夫（A.Д.Сахаров）提出的一种氢弹设计模型。这种模型的设计思想类似于美国的“闹钟”。萨哈罗夫提出的设计方案中热核燃料用的是液氘（或者加少量氚）。1949 年 3 月 B.Л.金兹堡（B.Л.Гинзбург）提出在“夹层饼”中用 ^6LiD 的思想，解决了热核材料问题。1953 年 8 月 12 日苏联在塞米巴拉金斯克核试验场以塔爆方式试验了“夹层饼”装置，用了很多氘，实测威力为 400 ktTNT。苏联一直把它叫做“氢弹”，实际上是一个重约 5 t，聚变份额只有 15%～20% 的单级加强型原子弹。



苏联 1953 年 8 月 12 日试验的“夹层饼”装置，威力为 400 ktTNT

（撰写：郑绍唐　审订：竺家亨）

jiacengxing bandaoti zhongzi tanceqi

夹层型半导体中子探测器 sandwich semiconductor neutron detector 由二个靠得很近、性能相似的面垒探测器之间夹一薄层中子灵敏材料^{6}Li或^{10}B组成的中子探测器，每一个探测器各自连接到独立的电子学线路，当反应产物被探测到时将所产生的脉冲信号进行符合相加并作分析而获得中子能谱。为了获得最佳的工作性能，探测器必须仔细匹配，且必须具有最小的死层，以及选择合适的硅单晶和工作电压，使中子和它的灵敏材料相互作用产生的带电粒子都能被阻止在探测器的耗尽层内。它的灵敏度是由安放在两探测器之间的中子灵敏材料的总量来决定的，不过灵敏材料层太厚会因自身对发射的带电粒子的自吸收而影响探测器的能量分辨，所以要根据实际需要进行折衷选择。

（撰写：丁洪林 审订：李广将）

jiajiaoti

假胶体 pseudocolloid 见放射性胶体。

jiashe shifa shijian

假设始发事件 postulated initiating event 可能导致预计运行事件或事故工况及其后续故障效应的事件。从可信的设备故障、人员失误、人为事件或自然事件等单一事件到各种事件的复杂组合均属于假设始发事件的范畴。核设施应设计得使大部分假设始发事件的后果较小，甚至可以忽略；其余有可能导致事故的假设始发事件的后果仍然可以接受。对假设始发事件必须考虑全面，保证没有遗漏潜在后果严重的和(或)频率高的可信事件。要综合运用设计和分析之间的迭代、工程判断以及设计和运行经验进行选择。对假设始发事件的详细分析应限于若干代表性的事件序列。这些序列能覆盖所有同类事件，并为安全重要系统、构筑物和部件的设计取值提供依据。 （撰写：俞尔俊 审订：陈叔平）

jiazhi hanshu

价值函数 value function 又称分离势(separative potential)。同位素分离技术中的一个专用特征函数，表征单位质量同位素混合物的“价值”。“价值”是个广义的概念，是与热力学特征函数类似的一个函数。价值函数是个无量纲量，要求它只是同位素混合物的丰度的函数，而与获得此丰度的分离过程无关，用符号$V(C)$表示。$V(C)$的表达式为

$$V(C)=(2C-1)\ln\frac{C}{1-C}$$

它来自其二阶导数$V''(C)=\dfrac{1}{C^2(1-C)^2}$，对此式两次积分后得到$V(C)$时会出现两个积分常数，采用不同边界条件会得到不同形式的价值函数表达式。不论采用何种形式的价值函数，对同一分离单元或级联，其价值的增率不变。如果取$C=0.5, V(0.5)=0$和$\left.\dfrac{dV}{dC}\right|_{c=0.5}=0$作为边界条件就得到上述价值函数的通用形式，也是最简单的形式。

（撰写：蒋同远 审订：刘广钧）

jianduqu

监督区 supervised area 未被确定为控制区、通常不需要采取专门防护手段或安全措施、但要经常检查其职业照射条件的属于辐射工作场所的任何区域。考虑了监督区内辐射危害的性质和程度之后，注册者和许可证持有者应：(1)采用适当的手段划出监督区的边界；(2)在监督区入口处的适当地点设立标志牌；(3)定期审查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和作出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

（撰写：吴德强 审订：华 旦）

jianduxing jiance

监督性监测 surveillance monitoring 对核电站(或大型核设施)强制实施的监测。核电站的业主要根据国家法规对核电站的运行实施常规监测，监测内容包括场内辐射监测和场外环境辐射监测。同时，国家或地方当局也要依据法规对核电站运行实施环境辐射监测，其目的是对业主的监测进行核实，以使公众对核电站的安全运行有充分了解。根据各自的监测方案、业主和监管当局使用的监测方法、监测仪器以及被监测的点位可以有同有异。 （撰写：黄治俭 审订：赵亚民）

jianhu fengcun

监护封存 storage with surveillance 在监护的条件下，对退役中的核设施进行安全封存的过程，主要用于反应堆的退役。在封存中通过堆内短寿命放射性核素的衰变，使堆的总放射性水平降低，便于长期封存或拆除、解体等退役操作。封存时，堆容器、工艺系统等屏障要处于良好密封状态；封堵系统和管道的开口；厂房内保持通风(必要时对进风进行干燥)，以防止系统与设备的腐蚀和气溶胶污染水平的提高。应定期检测辐射水平和观察建筑物以了解设施是否处于安全状态。对采用埋藏方案的反应堆设施尚需考虑结构的长期稳定性。

（撰写：王显德 审订：孙东辉）

jianrong yinshu

减容因数 volume reduction factor 放射性废物减容前、后的体积比。可用下式表示

$$F_R=V_0/V_1$$

式中 F_R为减容因数；V_0为减容前的废物体积（m^3）；V_1为减容后的废物体积（m^3）。减容因数的大小主要取决于两个因素：一是减容处理采用的工艺方法；二是被处理废物的特性。如用焚烧技术处理可燃废物的减容因数达到20～100；压实减容技术的减容因数为2～10。减容因数是选择处理工艺应考虑的重要参数，但不是惟一的指标，应综合考虑经济性、安全性和可行性等因素。 （撰写：范显华 审订：骆大星）

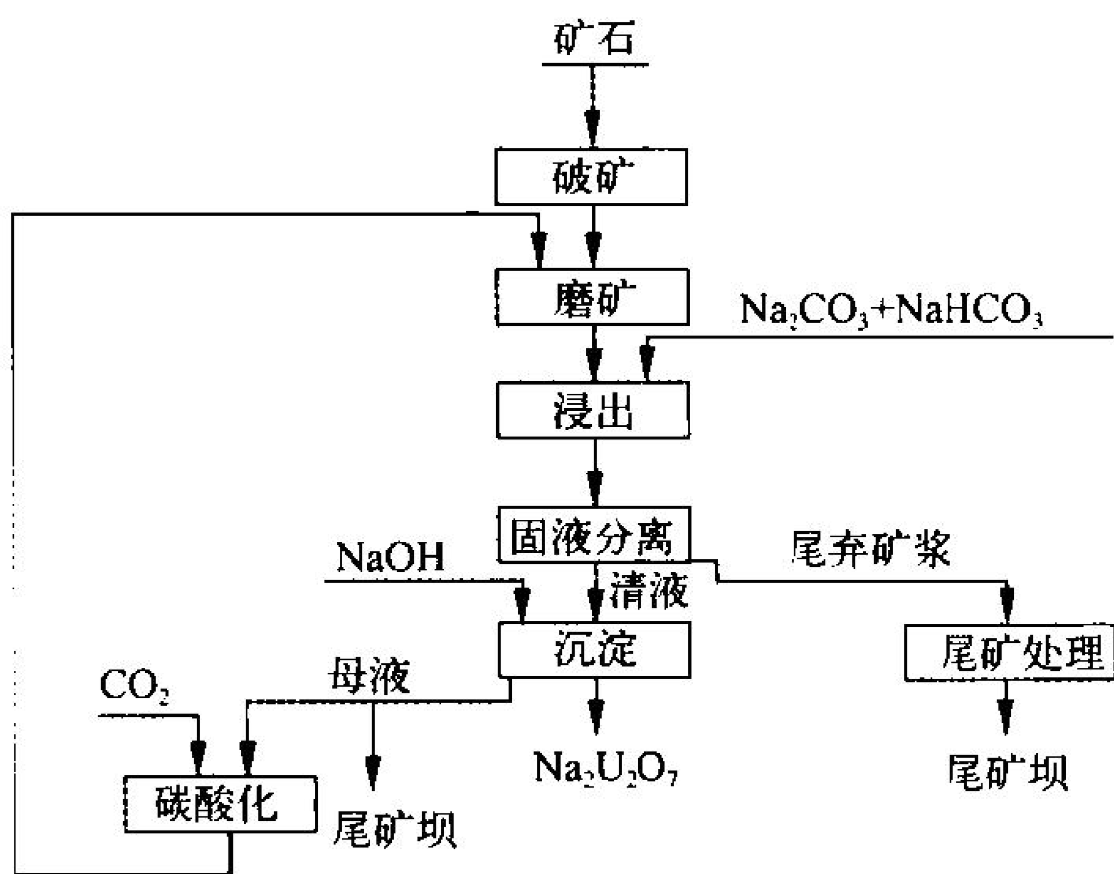
jianweili heshiyan

减威力核试验 reduced yield nuclear test 核装置中的部分放能材料用代用材料代替以降低爆炸威力，但不影响主要试验目的的核试验。有时因受国际条约限制，或者为了减少核试验造成的放射性沾染，减小核试验井的开掘工作量等原因，在核试验时需要降低核爆炸威力，但又不能影响主要的试验目的。苏联1961年10月30日进行的威力为50 MtTNT的核试验是一次减威力试验，试验时用铅做惰层，这一层如改用天然铀爆炸威力将达到100 MtTNT。我国在1966年12月28日进行的首次氢弹原理试验也是一次减威力试验。这次试验为了充分获得测量数据，核爆炸装置放在102 m高的铁塔上，但为了减少低高度核爆炸造成的放射性沾染，核装置中有意减少了^{6}LiD用量，并用铅代替天然铀做惰层，试验威力为122 ktTNT。

（撰写：郑绍唐 审订：徐适新）

jianfa liucheng

碱法流程 alkaline process 用碱法（主要是碳酸钠）浸出铀矿石并从浸出液中制备铀化学浓缩物或核纯产品的工艺过程（见图）。碱法流程适合于处理含碳酸盐超过5%的铀矿石，分



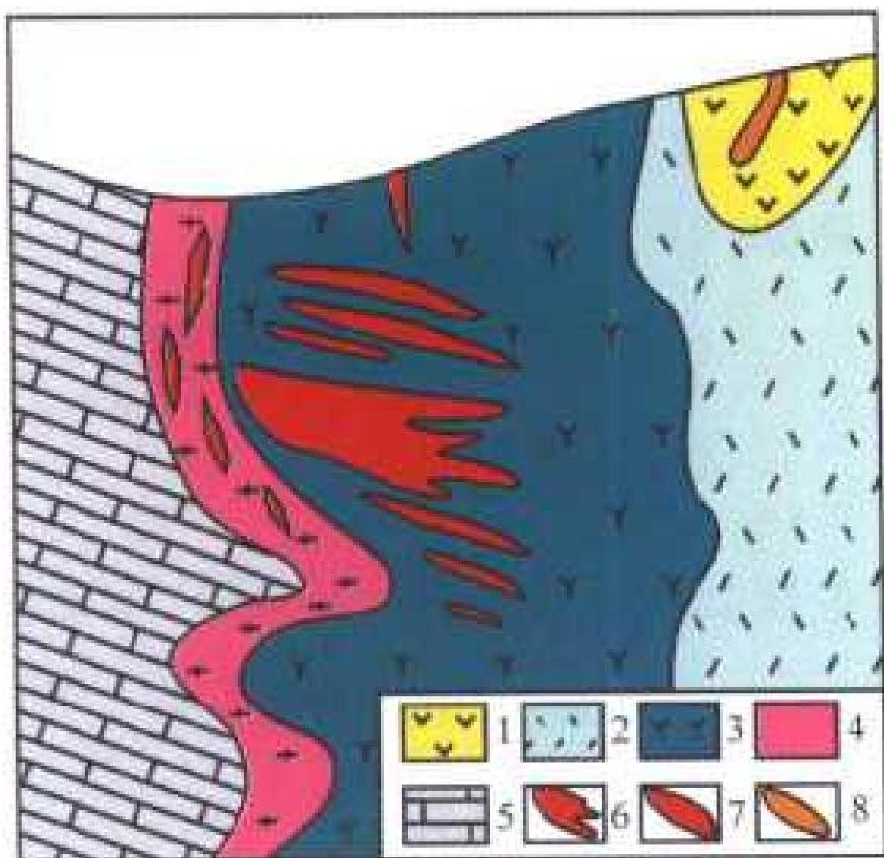
碱浸—沉淀法流程示意图

为：碱浸—沉淀流程，碱浸—吸附流程，碱浸—季铵萃取流程。多数工厂采用沉淀法，有的工厂采用酸—碱联合流程，即碱浸液用酸浸液（或酸）酸化，其后酸性的混合浸出液按酸法流程进一步加工。我国工业上首次采用碱浸—季铵萃取流程，用 $(NH_4)_2CO_3$ 溶液反萃取结晶制得三碳酸铀酰铵产品。

（撰写：关自斌　审订：夏润身）

jianxingyanxing youkuangchuang

碱性岩型铀矿床 alkalic rock type uranium deposit 产于碱性—过碱性霞石正长岩内的岩浆分异矿床。我国习惯称其为碱性岩型铀矿床，而国际原子能机构将其列为侵入岩铀矿床的一个亚类——过碱性正长岩铀矿床。产铀碱性岩多产于古老地台和地盾区，其中的铀矿化体通常集中在岩浆晚期晶出的岩性或岩体顶部富挥发分拱形地段。铀矿物为绿层硅铈钛矿、杂磷硅稀土矿、异性石、独居石、烧绿石等。矿体呈透镜状，与围岩无截然界线。矿石铀品位不高，多为0.03%～0.1%，单个矿床的铀资源量为几千吨，个别达2～3万吨。因含铀矿物都为硅酸盐，难以选冶，都属潜在铀资源。我国的赛马铀矿床为一典型的碱性岩型铀矿床，产于印支期的赛马碱性岩体中。绿层硅铈钛矿矿化是矿床的主体（见图），空间上严格定位在草绿色霓石霓霞正长岩中。赛马



碱性岩型铀矿床示意图

1—响岩；2—霓霞正长岩；3—草绿色霓石霓霞正长岩；4—矽卡岩；5—大理岩；6—绿层硅铈钛矿型矿体；7—富铀烧绿石型矿体；8—沥青铀矿脉

矿床是铀—钍—稀土—铌综合矿床。

（撰写：陈祖伊　审订：赵凤民）

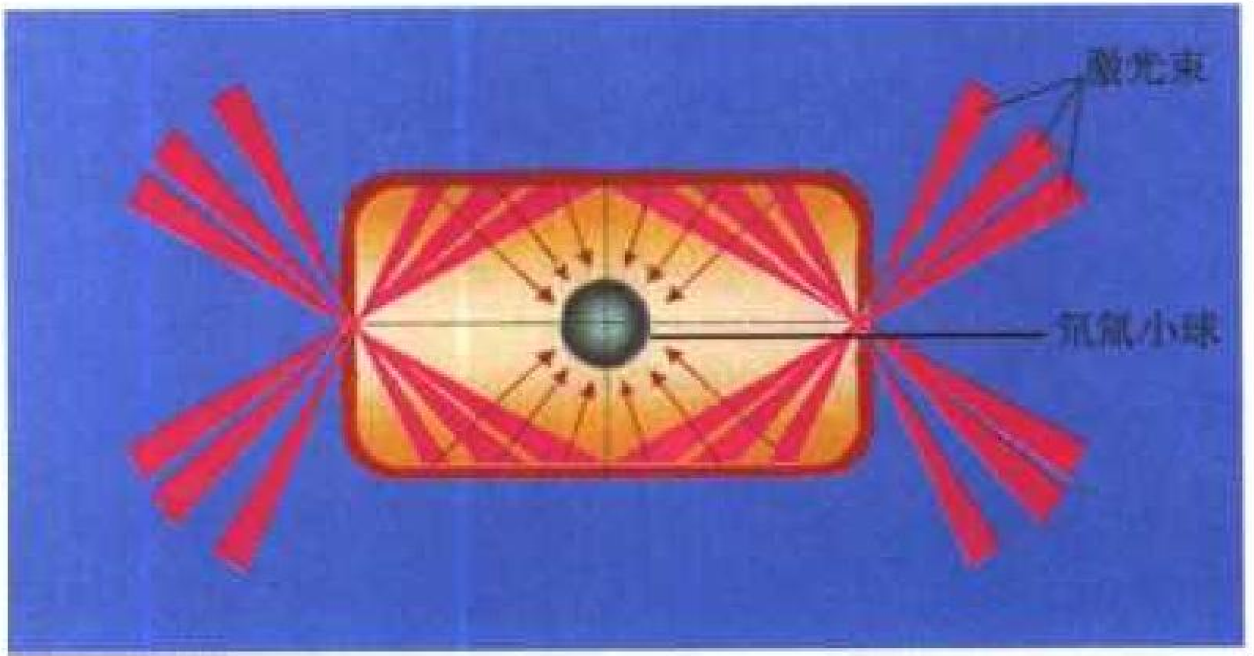
jianzheng dian he tinggong daijian dian

见证点和停工待检点 witness point and hold point 在设备制造、施工和维修活动的质量控制文件（通常为质量计划）中规定的对若干特定质量操作工序必须预先通知质量监督方的两种质量控制点。对于见证点，如果操作方按规定的时间通知了质量监督方，不管监督人员是否到场，都可以进行该操作。对于停工待检点，除非事先得到质量监督方的书面许可，否则只有经质量监督方指定人员到现场验证并给予放行后，才能进行该停工待检点以后的工作。

（撰写：徐仁楠　审订：高鹏飞）

jianjie qudong bawuli

间接驱动靶物理 indirect drive target physics 研究驱动源能量先转换为软X射线，再由X射线驱动内爆过程的物理。间接驱动又称辐射驱动。间接驱动靶物理大致可分为：黑腔靶物理和辐射驱动内爆动力学。前者创造满足辐射驱动内爆需求的辐射场；后者则创造热核反应需要的等离子态状态。激光为驱动源时，在高Z元素（例如金）黑腔的内壁上将激光转换为X光；离子束驱动时，其能量由吸收—辐射体高效率吸收，再转换为X光（见图）。间接驱动内爆具有X光流动快、辐照均匀性好、对内爆流体力学不稳定性致稳效应强等优点。



间接驱动激光聚变靶示意图

（撰写：张钧　审订：常铁强）

jianjie shiyong de hecailiao

间接使用的核材料 indirect-use (nuclear) material 除直接使用的核材料以外的所有核材料。如天然铀、低浓缩铀或钍。

（撰写：刘大鸣　审订：严叔衡）

jianjie weixiu

间接维修 indirect maintenance 对失效的放射性设备进行远距离拆除和更换（不进行现场修理），也可称为远距离维修。维修人员在设备室（热室）外面借助遥控吊车、动力机械手、电随动式主从机械手、机械式主从机械手、屏蔽窥视窗、潜望镜、电视等远距离机具进行观察和工作。间接维修主要优点是：工厂开工率高，辐射剂量小，工艺设备及其布置可采用模块式组合台架技术。采用模块式组合台架技术有以下优点：整体台架可在制造厂加工，价格便宜且易保证质量；因制造、清洗、性能试验等一并进行，故可集中安装，减少现场安装工作量；因采用了可远距离更换的跨接器，维修时间可缩短；工厂退役处理容易。间接维修主要缺点是：设备投资大；远距离维修难度大；设备的制造和安装的精度要求高；对维修操作技术要求高。乏燃料后处理厂的机械首端和化学首端热室多采用远距离维修方式。

（撰写：王世诚　审订：郑华铃）

jianchuanyong fanyingdui

舰船用反应堆 marine propulsion reactor 用于船舶和军用舰艇推进的核动力反应堆。要求安全可靠、便于维修、体积小、重量轻、抗冲击、耐振动和摇摆、机动性好。目前多数为压水堆（参见压水反应堆）。舰船用压水堆装置目前有分散型、紧凑型和一体化三种布置形式。分散型是指反应堆、蒸汽发生器、稳压器、主泵等各自独立，彼此用管道相连的压水堆装置，在一回路各主设备之间和反应堆冷却剂进、出口附近设置闸阀，用于设备维修与事故隔离。紧凑型是指反应堆、蒸汽发生器和主泵之间用约 0.5 m 长的双层套管连接（外管承压，内管分流），从而使设备布置紧凑。一体化是指将蒸汽发生器和稳压器等布置在反应堆容器之内，主泵与反应堆直接相连，取消主管道和主阀门，使系统进一步简化，布置更为紧凑（参见潜艇核动力装置）。（撰写：刘聚奎 审订：孙玉发）

jianting fanghewuqi xiji jingbao

舰艇防核武器袭击警报 ship nuclear alarm 舰艇遭到核武器威胁时，用广播、汽笛、铃声、灯光等发出的将有危险到来的通知或信号。在受到核武器直接威胁、接到上级命令或发现核爆炸闪光时，由舰长发出或通过核爆探测装置自动发出核武器袭击警报。此时舰艇需要人工或自动采取防冲击波、光辐射、早期核辐射和放射性沾染的措施并进入战斗部署。主要防护措施包括：加固舱面物体、减少暴露人员、密闭舱室、清除舱面易燃易爆物体并组织严密的核监测报知。当敌人核袭击已过且不存在放射性沾染（剩余核辐射）的威胁时，由舰长发出或由核辐射探测装置自动发出解除警报。（撰写：海 淀 修订：张宏濂 审订：毛用泽）

J

jianting hedongli zhuangzhi jidongxing

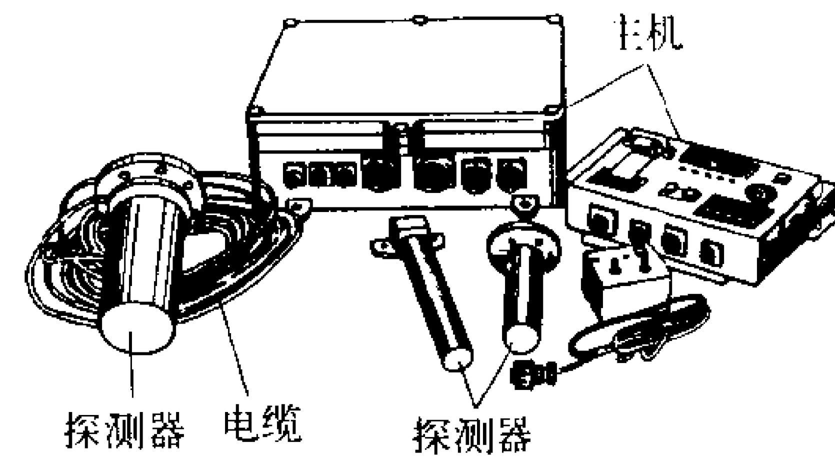
舰艇核动力装置机动性 maneuverability of marine nuclear power plant 舰艇核动力装置输出功率急剧变化时反应堆功率跟踪变化的能力。舰艇因技术、战术的需要，要求驱动功率能在尽可能短的时间内大幅度变动，例如要求在规定短时间内由额定值的20%升至满功率或者相反，使舰艇在规定的短时间内全速正车、倒车等。反应堆能在完全自控状态下安全跟踪多大的驱动功率快速变动，是核动力装置机动性的定量表现。（撰写：柴长岭 审订：孙荣绵）

jianting hefushe jiance

舰艇核辐射监测 ship nuclear radiation monitoring 为查明舰艇遭受放射性沾染情况而进行的辐射侦察和沾染检查的总称。主要任务是：测定舰艇各部位的 γ 辐射剂量率和表面沾染程度；收集沾染样品；检查消除沾染后的残留表面放射性沾染活度；必要时，在沾染较重的部位作出标志。（撰写：王 坚 审订：毛用泽）

jianyong γ fusheyi

舰用［γ］辐射仪 ship borne γ radiation meter 安装在水面舰艇上测量 γ 辐射周围吸收剂量和剂量率［$D^*(10)$、$\dot{D}^*(10)$］（以下简称 γ 剂量、γ 剂量率）的核辐射探测仪（见图）。用于发现舰艇所在海域的放射性沾染，并发出警报信号；测定受染舰艇主要舱室的 γ 剂量率；测定主要战位和舱室人员处的 γ 剂量；测量海水放射性沾染的体积活度；并具有模拟训练功能。舰用辐射仪通常由探测器、传输电缆和主机组成。多个探测器分别安装在水面舰艇的舰桥、桅杆上，以及舰艇舱内和船体内水线以下位置。γ 辐射作用于探测器，输出电信号，经传输电缆传送至主机，数据处理后，由显示器显示并打印记录。



舰用［γ］辐射仪

（撰写：纪武祥 审订：毛用泽）

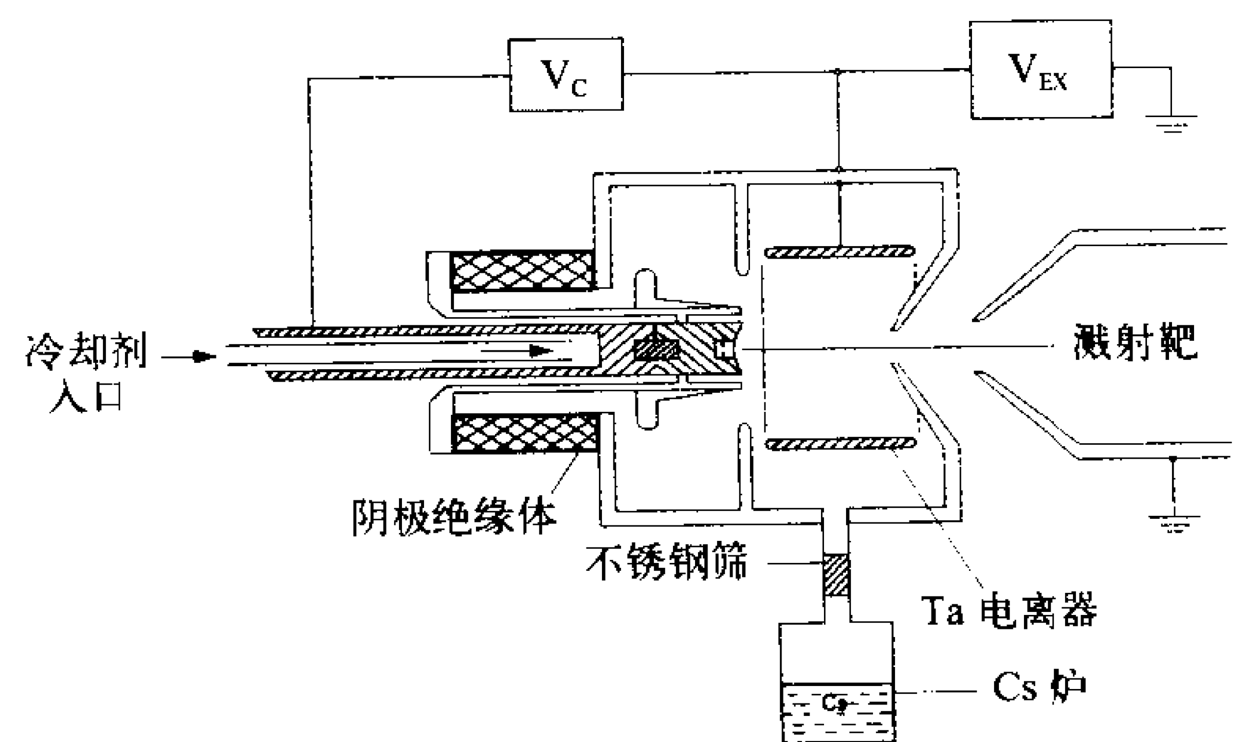
jianzai hebao tance xitong

舰载核爆探测系统 ship-borne nuclear burst detection system 又称艇载核爆探测系统。固定安装在舰艇上主要对海上目标的核爆探测装备。舰（艇）载核爆探测系统由核爆探测部件、信号处理部件和信号传输部件等组成。该系统通常采用光学、核电磁脉冲与力学等综合核爆探测手段，探测发生在作战海域空中或水面（下）核爆炸，并将获得的信号经信号处理部件处理，判明核爆炸的发生及确定核爆炸的时间、位置、威力和方式等。根据获取的核爆炸基本参数和有关气象数据，用海军防化作业箱迅速计算、评估和显示核武器袭击对海军舰队人员、武器装备的毁伤程度以及作战海区受放射性沾（污）染的情况，为舰艇部队核防护提供依据。

（撰写：张宏濂 审订：毛用泽）

jianshe liziyuan

溅射离子源 sputtering ion source 利用阴极溅射现象产生固体离子的离子源。它是产生负重离子的主要离子源，可分为离子束溅射负离子源和等离子体溅射负离子源两种结构。米德尔顿（Middleton）等发展的通用型负离子源是前者的典型（见图）。它由钽丝组成的圆柱形表面电离器产生 5～10 keV，5～15 mA 的 Cs^+ 束轰击溅射靶，同时有足量铯原子喷射靶的表面，降低其功函数。这样可得到数百微安的各种负重离子。等离子体溅射源已较好解决最佳产生负离子的大面积喷铯溅射靶和低气压下产生高密度溅射等离子体问题，会切场、微波或高频等离子体溅射型负离子源在溅射电压 500～1000 V、电流约 300 mA 时均可引出约 10 mA 的 Cu^- 等负重离子。



米德尔顿型溅射离子源（VNIS）示意图

（撰写：赵渭江 审订：关遐令）

jiangdi hewuqi jiebei zhuangtai

降低核武器戒备状态 de-alerting nuclear weapons 采取一系列可以逆转的物理措施，通过技术手段降低核力量的戒备率，延长战略导弹发射时间，以减小意外的、未经授权的或考虑不周的导弹发射的危险，为在危机时刻敌对双方的谈判

与磋商争取时间，从而增加战略稳定性。显然，这一过程在法律上和技术上都是可以逆转的。冷战时期，美、苏为了避免手中的核武器在对手发动的首次核打击中被全部摧毁，一方面部署更多的核武器，另一方面把核武器保持在“报警即发射”(launch-on-warning) 状态，意即只要预警系统发出警报，便立即着手进行核反击。因此就存在着因技术上的失误导致核武器发射或未经授权使用核武器的可能，从而增加了爆发核战争的危险。1995 年 1 月 25 日挪威发射的探空火

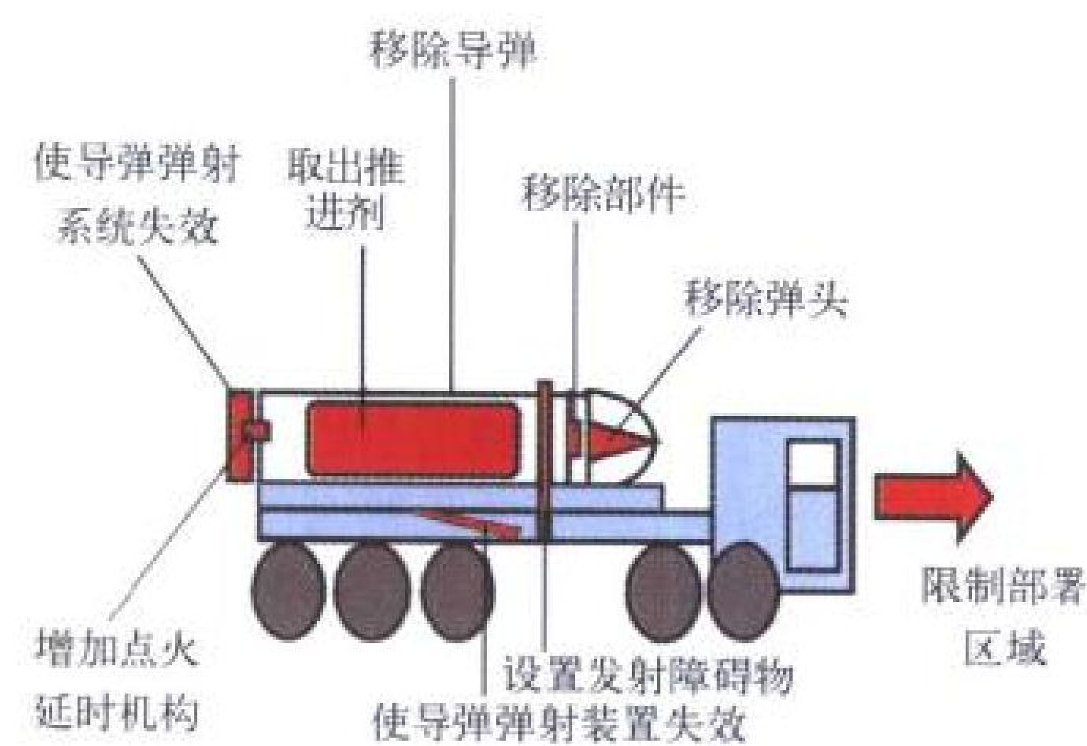


图 1 降低陆基机动导弹核武器戒备状态的具体措施示意图

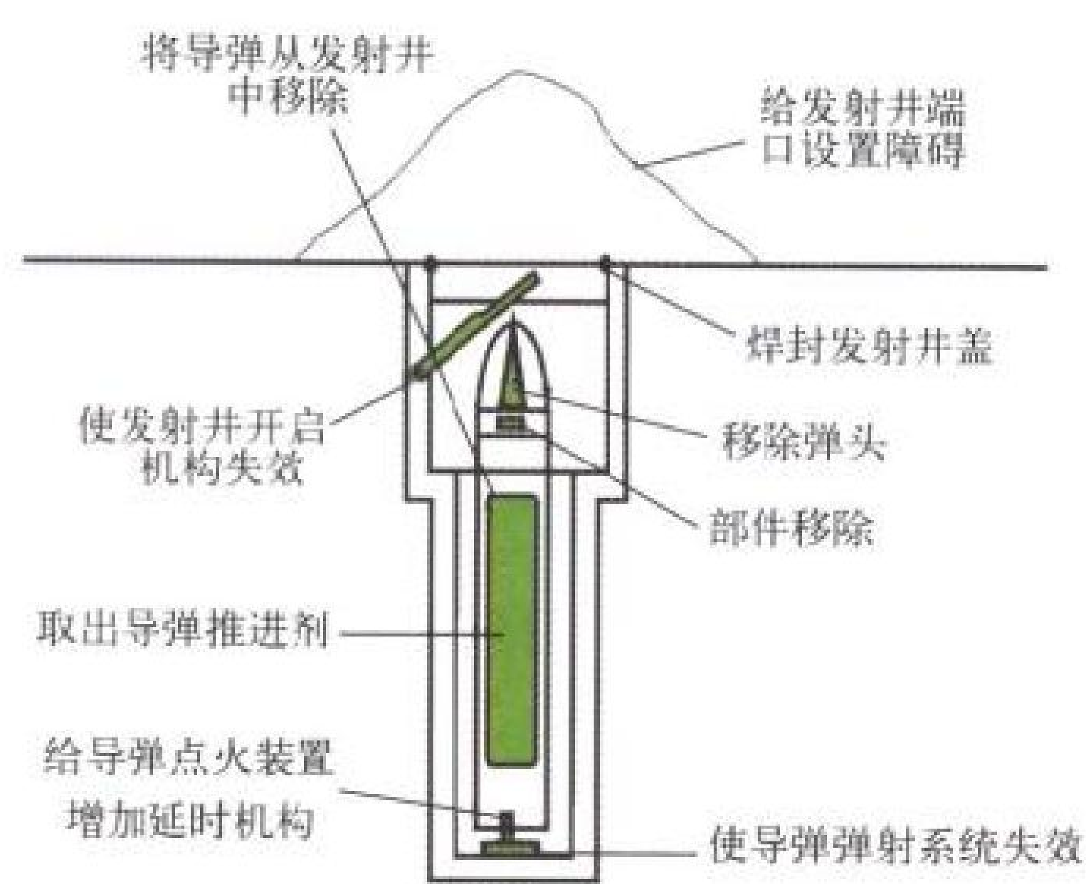
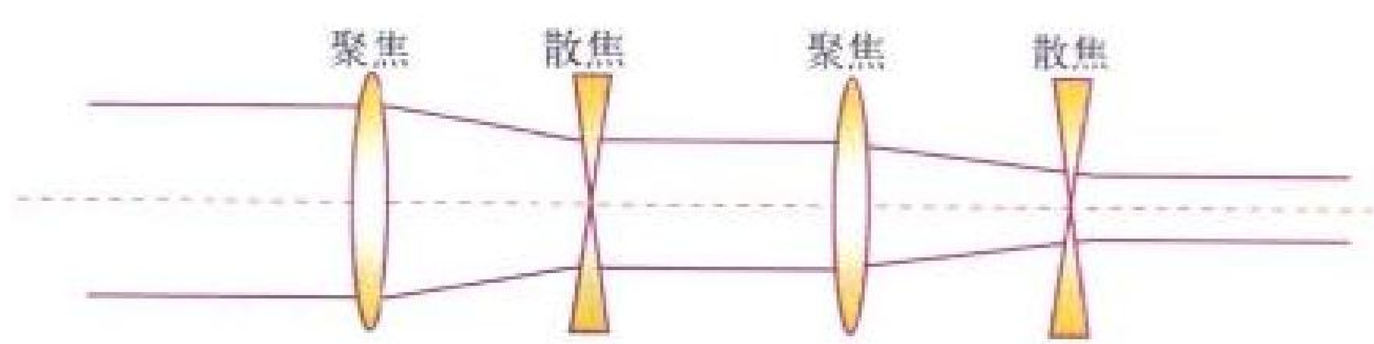


图 2 降低井基导弹核武器戒备状态的具体措施示意图

箭被俄罗斯预警系统错误地当成挪威附近海域的美国潜艇向俄罗斯发射的导弹，当时叶利钦总统接到警报后启动了控制俄罗斯核武装力量的核手提箱，8 min 后俄罗斯方面才查明“来袭导弹”的真实身份和意图。这次事故被认为是核武器诞生以来核导弹部队转入的一次最高戒备状态，险些触发了核战争。这是目前部分西方军控界大力推动“降低核武器戒备状态”的一个主要原因。另外，在当前核裁军进程停滞不前的情况下，许多非政府性机构和组织的人士建议几个核国家(尤其是美、俄两国)应该迅速解除其核导弹的戒备状态，澳大利亚“堪培拉消除核武器委员会”甚至把“降低核武器戒备状态”(见图) 作为全面消除核武器所应采取的重要的先期步骤。 （撰写：段占元 审订：唐西生）

jiaobian tidu jujiao

交变梯度聚焦 alternating gradient focusing 以横向聚焦场梯度作正负交替变化进行聚焦的方法。该方法在同步加速器中，将场降落指数 n 取值为 $|n| \gg 1$ 的正负两组磁铁交替排列在粒子轨道上，这样的聚焦磁铁和散焦磁铁分别等效于光学中的凸凹透镜，结果使两个方向均得到良好的聚焦，而且其聚焦作用比常规梯度聚焦 ($1 > n > 0$) 要强得多。这种交变梯度的聚焦原理称为“强聚焦原理”，采用这种聚焦方式的加速器称为“强聚焦加速器”。交变梯度聚焦方法在束流输运中，其强聚焦元件多采用四极磁铁。四极磁铁对束流横向作用的特点是在一个方向聚焦，在另一个方向则是散焦。交变梯度聚焦方法就是将两组聚焦、散焦四极透镜交替排列在粒子输运线上，形成强聚焦。其聚焦过程如图所示。



交变梯度聚焦过程

（撰写：王传英 审订：关遐令）

jiaocha zhixingqiang

交叉指型腔 interdigital resonator 离子直线加速腔。它的结构特点是在圆柱腔轴线上排列的一串漂移管分别通过直杆交叉地固定在腔的两个对边上，这就是该腔名称的由来。在工作时，相邻的漂移管处在相位相反的高电位。离子由一个间隙到下一个间隙时正好经历半个高频周期，因而处于不断加速的状态。这种加速腔由于腔内有纵向高频磁场，因而又称 IH 型腔（Interdigital H–Type Resonator)。它的特点是加速间隙多，加速效率很高，比分路阻抗很高。但对加速不同的离子种类和加速能量范围的适应性很差，并且在漂移管中需装进径向聚焦元件以取得离子的径向运动的稳定性。但对于加速一定能量的离子来说，它仍是一种取得较高能量增益的合适的加速腔。它多工作在 100～150 MHz 附近的频率范围，是现在常用的重离子后加速器的加速腔之一。

（撰写：方家训 审订：关遐令）

J

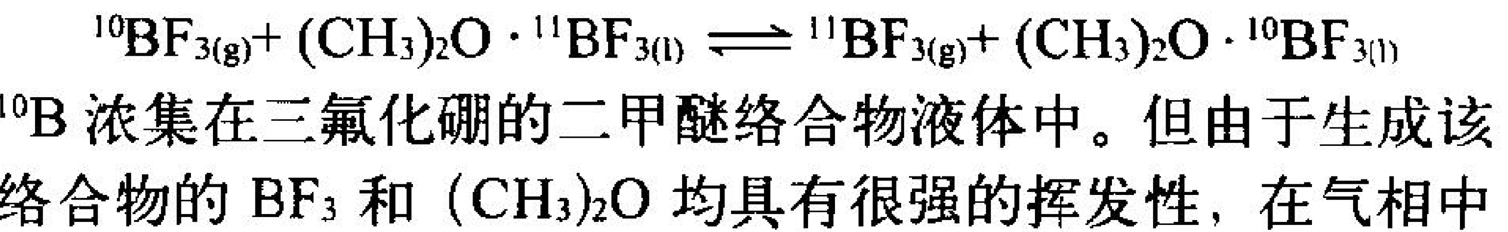
jiaodaiyan youkuangchuang

交代岩铀矿床 metasomatite uranium deposit 矿化呈不均匀浸染状产于碱交代的构造变形岩石中的铀矿床。成矿碱交代作用不受岩性控制，可发生在花岗岩、火山岩、沉积岩乃至高级变质岩中；成矿碱交代作用多为钠交代，少数为钾交代；成矿碱交代作用时代范围宽，从元古代到中生代均有。矿石为强碱交代岩石，主要铀矿物为晶质铀矿、沥青铀矿、钛铀矿、铀石、铜铀钛铁矿。伴生矿物有磷灰石、黄铁矿、绿泥石、碳酸盐、赤铁矿等，矿石中铀品位一般较低，为 0.1%～0.2%；单个矿床铀资源量几百至几千吨，个别大矿床可达几万吨至几十万吨（俄罗斯的埃利康铀矿床)。

（撰写：陈祖伊 审订：赵凤民）

jiaohuan zhengliufa fenli tongweisu

交换蒸馏法分离同位素 isotope separation by exchange distillation method 利用气液相化学交换分离同位素的一种方法。在气液相化学交换过程中，有时两相中存在着待分离同位素的同一化合物，从而产生同位素蒸馏效应，故称交换蒸馏。以 BF_3 和 $(CH_3)_2O \cdot BF_3$ 气液两相分离同位素 ^{10}B 和 ^{11}B 为例，其化学交换反应如下



$$^{10}BF_{3(g)} + (CH_3)_2O \cdot {}^{11}BF_{3(l)} \rightleftharpoons {}^{11}BF_{3(g)} + (CH_3)_2O \cdot {}^{10}BF_{3(l)}$$

^{10}B 浓集在三氟化硼的二甲醚络合物液体中。但由于生成该络合物的 BF_3 和 $(CH_3)_2O$ 均具有很强的挥发性，在气相中

仍存在相当数量的 $(CH_3)_2O \cdot BF_3$ 络合物，在气液两相中，$(CH_3)_2O \cdot {}^{10}BF_3$ 和 $(CH_3)_2O \cdot {}^{11}BF_3$ 之间由于蒸气压不同，产生了蒸馏分离效应。此蒸馏效应的存在，将降低同位素化学交换的一级分离系数。在 BF_3 与二乙醚络合物 $(C_2H_5)_2O \cdot BF_3$ 之间进行化学交换时也存在蒸馏效应。在 BF_3 与苯甲醚络合物 $C_6H_5OCH_3 \cdot BF_3$ 之间进行化学交换时，由于苯甲醚沸点高，就不存在同位素蒸馏效应。

（撰写：李以圭　审订：朱永赌）

jiaozi

胶子　gluon　粒子物理标准模型理论中假设的传递强相互作用的一种粒子。目前试验中仍未探测到自由胶子，一般认为单个胶子不能被分离出来。胶子作用在带色的粒子之间，色在强相互作用中的地位类似于电荷在电磁相互作用中的地位。色有3种，相应的相互作用媒介子是8种带色的矢量玻色子，即8种胶子。胶子不带电荷，质量为零。

（撰写：班　勇　审订：叶沿林）

jiaoer jiare taoci ronglufa

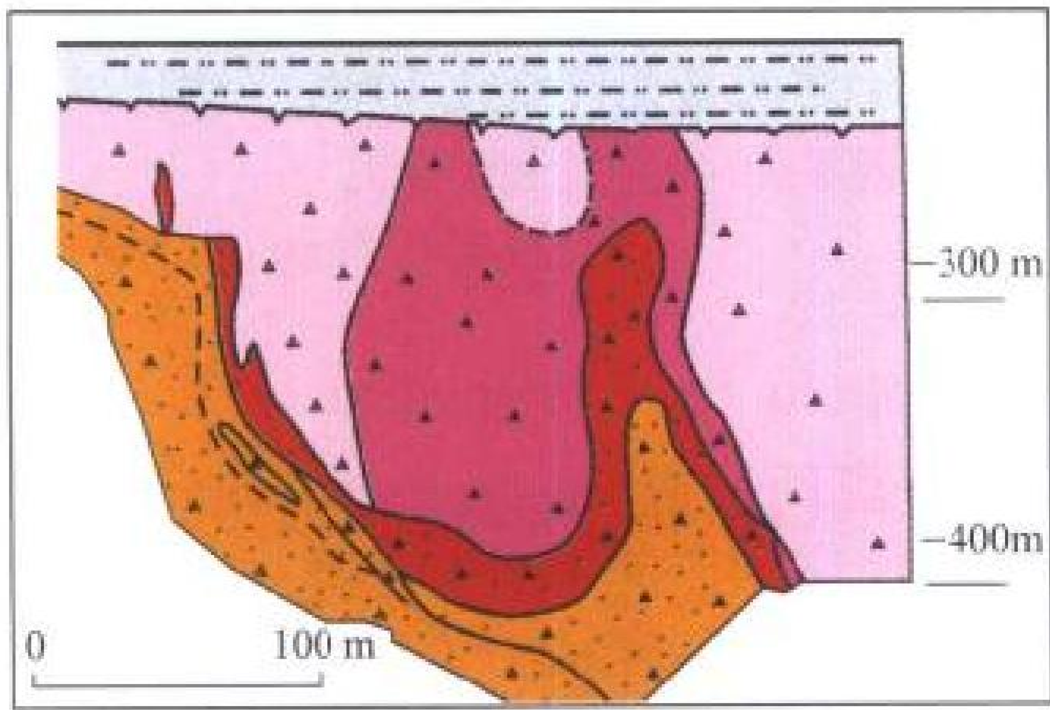
焦耳加热陶瓷熔炉法　Joule-heated ceramic melter process　又称电熔炉法。在陶瓷熔炉内利用熔融态玻璃导电并产生“焦耳热”而熔制高放废液玻璃固化体的方法。该法是玻璃工业广泛采用的方法，20世纪70年代美、德等国研究用其固化高放废液。现已实现工业化生产。玻璃在常温下是不导电的，启动时必须先用辅助电极[碳化硅和(或)Si–Mo电热元件]将熔炉内的启动玻璃料(或残留的玻璃固化体)熔融，在停止辅助电极加热的同时接通主电极，使熔炉进入焦耳加热状态。高放废液和玻璃形成剂自熔炉顶部加入。熔制好的产品玻璃由底部的冻融阀排入接收容器。

（撰写：汤宝龙　审订：罗上庚）

jiaolizayan youkuangchuang

角砾杂岩铀矿床　breccia complex uranium deposit　产于由复成分花岗岩和赤铁矿碎屑构成的、并被赤铁矿—绿泥石—绢云母—硅质胶结的粗粒角砾岩中的铀矿床(见图)。澳大利亚南部的奥林匹克坝铀矿床是目前已知惟一有工业价值的角砾杂岩铀矿床。矿区基底为太古代—早元古代的变质杂岩和碱性花岗岩，其上不整合地覆盖中元古代晚期陆相碎屑岩、长英质火山岩以及寒武系页岩、砂岩、石英岩和灰岩。容存铜铀矿体的是产于花岗岩中并与其呈渐变关系的角砾杂岩。杂岩体平面上呈直径为5 km的等轴状，剖面上呈漏斗状。该矿床是一个Cu–U–Au–Fe–REE综合矿床，已探明矿石储量20亿吨，矿床的金属资源量分别是：铀100万吨，铜3200万吨，金1200吨。

（撰写：陈祖伊　审订：赵凤民）

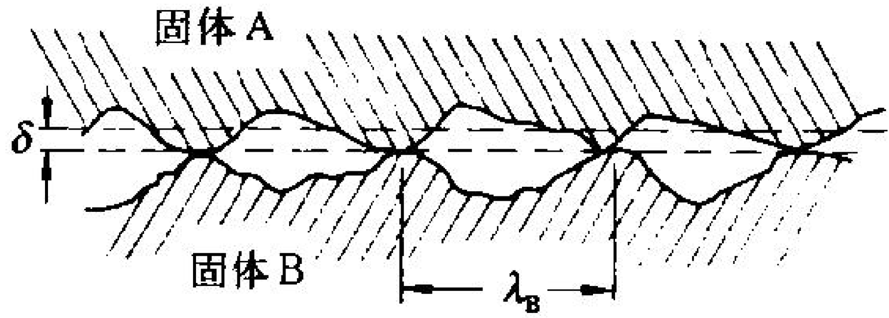




角砾杂岩铀矿床示意图

jiechuredao

接触热导　contact heat conduction　燃料包壳与芯块之间接触传热的等效传热系数。运行中包壳内外压差的变化、燃料芯块随温度升高的膨胀、辐照引起的肿胀和变形等，都会使燃料芯块表面与包壳内表面之间发生不同程度的接触。这种接触仅是少数点的接触(见图)，其接触面积与所受到的压力、表面光滑程度以及表面硬度等有关。由于这种接触传热十分复杂，其传热过程常引入经验的等效传热系数来处理。



少数点接触的热导

（撰写：李金才　审订：马昌文）

jieshoudu

接受度　acceptance　束流光学系统所能无损传输的粒子在相空间占据的最大面积(除以π)。接受度是光学系统的特性，而发射度是束流的特性。接受度的大小取决于系统的几何尺寸和场的特性。一个合理的束流光学匹配传输系统应当确保束流的发射度全部包含在系统的接受度相图之内，并留有充分的余量。

（撰写：王传英　审订：关遐令）

jieheneng

结合能　binding energy　把一个粒子从一个粒子系统分出来或将一个系统分解为它的组分粒子所需要的能量。结合能常用于原子核中的亚原子粒子、受到原子核束缚的电子及晶体中结合在一起的原子和离子。对原子核来说，它的结合能就是把原子核完全分解为自由的质子和中子所需的能量。这个能量也是这些自由的质子和中子组成原子核时所释放出的能量。不同核素的结合能差别很大，一般来说，核子数 A 大的原子核结合能也大。原子核的结合能除以质量数 A 就是每个核子的平均结合能，称为比结合能。

（撰写：华　辉　审订：卢希庭）

jiejing fancuiqu

结晶反萃取　crystallization-stripping　将反萃取与产品结晶置于同一设备中同时完成的过程。在结晶反萃取过程中反萃取和结晶条件必须一致，反萃取剂兼作结晶剂和盐析剂。水相(结晶母液)、贫有机相和晶体产物的分离是该过程的关键。细晶体在结晶器中不断循环长大，粗晶排出系统，结晶母液在器内或器外回收晶体后进行处理或回用；而贫有机相在结晶器上部聚集、澄清、溢流排出，再返回萃取工序。反萃取剂的浓度、体系温度、加排料方式、搅拌强度和容器结构对过程的顺利实现有极大的影响。此方法已被成功用于生产核电级三碳酸铀酰铵产品。

（撰写：程光荣　审订：牛玉清）

jiexing bandaoti tanceqi

结型半导体探测器　junction semiconductor detector　采用热扩散，离子注入和表面势垒工艺制备的P–N结和表面势垒

探测器统称为结型半导体探测器。热扩散工艺是用热扩散法往半导体晶体表面层掺进与材料电导类型相反的杂质，通常在P型材料中进行磷扩散形成N^+P结。这种探测器死层较厚。另外工艺温度高（>1000℃）会导致半导体少子寿命的降低。所以用扩散工艺制备的P–N结型探测器的能量分辨较差。由离子注入工艺（参见离子注入型半导体探测器）制备的P–N结具有窗薄、结深易于控制等优点，现已制成高性能的位置灵敏探测器及漏电流小于1 nA/cm^2的高分辨带电粒子探测器和输出电流大于10 A的PIN电流型探测器等。

（撰写：丁洪林　审订：李广将）

jiepu jishu

解谱技术　spectrum resloving technique　对复杂谱进行解析，从而计算出各种射线的能量和强度，确定样品中各种核素的含量的技术。复杂谱的各道计数可以看成是各种能量的射线在该道产生的计数的线性叠加。依据此原理形成了几种不同的解谱方法，可以分为两类：一类使用标准谱，包括剥谱法、逆矩阵法和最小二乘法解谱等；另一类不使用标准谱，而用函数拟合法。用标准谱法解谱时，首先必须知道被测样品中存在着哪几种核素，分别测出每种核素的标准谱，计算出混合样品中各种核素强度的比例关系。为了确保线性叠加的假设成立，标准谱和被测混合样品谱必须在同样的条件下测量。标准谱方法常用于简单谱的解析。由Ge(Li)，Si(Li)等能量分辨率比较高的探测器测得的γ，X射线能谱的解析通常使用函数拟合法。这种方法首先把谱分成若干个谱区间，每个谱区间包含若干个有意义的峰，在每个谱区间中写出表征谱形的谱函数解析表达式，由测得的谱数据计算出谱函数中的各个参数，由这些参数可以计算出这个谱区间内每个组分峰的净面积，从而求出各核素的强度。此法最大的优点是不必预先知道样品中含有核素的种类。　（撰写：倪建平　审订：席德明）

jieti

解体　disassembling　核设施退役过程中将设备分解成零部件或若干部分的过程。在核设施退役过程中需将经初步去污后被拆除的设备进行解体以便对它作进一步去污和处理。对符合清洁解控水平的零部件或材料考虑再利用或经熔融处理后再利用。　（撰写：王显德　审订：孙东辉）

jiexi quxian

解吸曲线　desorption curve　又称淋洗曲线。在固定床解吸中，将解吸流出液中被交换下来的铀离子浓度对通过的解吸液体积（以树脂床体积倍数表示）作图所得的曲线。它是表示解吸过程中各种物质分离或浓集的特征曲线。在铀水冶工艺中，对于单塔解吸，为了得到铀浓度高的合格解吸液，仅将峰值左右的部分解吸液作为合格液，铀浓度较低的贫解吸液需返回解吸使用，即分部解吸。

（撰写：许根福　审订：关自斌）

jiezi

介子　meson　重子数为零的强子。大多数已知介子及其性质都可以用被胶子场束缚在一起的一对夸克—反夸克来描述。介子的自旋为整数；不同介子的质量差异很大，如带电π介子的质量约为139.6 MeV，而Γ介子质量约为质子质量的10倍。介子可衰变成轻子、光子、中微子或其他介子。汤川秀树于1935年首先假设了介子的存在，并把介子作为场量子来解释核子之间的相互作用。鲍威尔于1947年首次在宇宙射线中发现了质量约为138 MeV的π介子，它可带正电、负电或不带电。π介子可在高能核碰撞中大量产生。1948年在宇宙线中又发现了更重的K介子（质量约为495 MeV）。1961年在美国伯克利的气泡室中发现了极不稳定、质量为783 MeV的ω介子。1974年，在美国布鲁克海文实验室的质子碰撞试验和斯坦福的电子—正电子储存环SPEAR试验中同时发现了J/Ψ粒子，它的质量为3097 MeV，寿命为10^{-20} s。J/Ψ粒子的发现为存在较重的新夸克提供了证据。

（撰写：班勇　审订：叶沿林）

jiezi yuanzi

介子原子　mesonic atom　有若干电子被负电荷介子取代的原子。由于历史原因，这里的介子包括μ子。含某种介子的原子称某介原子。例如含μ子的原子称μ介原子，含π介子的原子称π介原子。这是最早（50年前）发现并研究最透彻的两种介子原子。按量子论，原子内负电粒子轨道的半径反比于该粒子的质量。如π介子质量为电子质量的200多倍，它在原子内运行的轨道半径小于相应电子轨道半径的0.5%。这是它的一大特征，许多实际的和基础研究中的可能应用源出于此。　（撰写：张启仁　审订：卢希庭）

J

jiemian wuwu

界面污物　interfacial crud　在萃取（或反萃取、洗涤）过程中两相界面上所产生的沉积物。乏燃料后处理普雷克斯过程1A萃取器所产生的界面污物尤为严重。界面污物的组成和形成机理相当复杂。如1A萃取器界面污物的主要成分是有机溶剂降解产物磷酸二丁酯与锆生成的二丁基磷酸锆、稀释剂降解产物、贵金属、铀、钚等形成的复杂化合物及固体颗粒。界面污物的形成和不断积累对萃取分离过程影响很大，可使去污系数降低，铀、钚产品收率与纯度下降，严重时萃取设备将无法正常运行。为减少界面污物形成，可通过增加乏燃料的冷却时间，改善溶解料液的过滤效果、选用接触时间更短并受界面污物影响较小的萃取设备（离心萃取器、折流板萃取柱）等措施来实现。

（撰写：杨祖辉　审订：郑华铃）

jinshubu

金属钚　metallic plutonium　呈金属形态的钚。制取金属钚可采用氯化钚的钙热还原法。先将后处理厂生产的氧化钚，用四氯化碳转换为氯化钚，再用钙（加催化剂碘）在氟化镁衬里的反应弹中还原而获得纯度高于99.9 %的金属钚。为了去除其中残存的轻元素、气体及非金属杂质，还可用真空精炼法进一步提纯。金属钚的低熔点和固态相的不稳定性（参见钚）以及低温α,β,γ相结构的低对称性，化学性质活泼，脆性、难于加工等缺点阻碍了它在核能领域里的应用。高温的δ,δ'和ε相有典型的金属结构，许多元素可稳定δ相，因此，实用的金属钚主要是δ相钚合金。

（撰写：李文埮　审订：张忠岳）

jinshu ranliao

金属燃料　metallic fuel　呈金属形态的核燃料，包括铀、钚及其合金。金属燃料具有易裂变原子密度高、导热性好和易于加工等优点。但金属燃料在熔点以下都有多次同素异形转变，限制了其使用温度；其低温相呈各向异性，导致严重

的辐照生长；它的化学性质活泼，抗腐蚀性差。为改善金属燃料的使用性能，曾借助添加合金元素和热处理等方法，如添加微量(800～1500 μg/g)的铁、铝、硅、铬后，经β热处理制成细晶粒、消除织构的调质铀；或添加钼、锆和铌配制γ相合金，如钼的质量分数为10%的U–Mo合金和锆的质量分数为2%的U–Zr合金。由于这类燃料不能从根本上克服上述的缺点，所以在核电发展初期就被UO_2陶瓷燃料所取代。

（撰写：李文埮　审订：张忠岳）

jinshu rongrong quwu

金属熔融去污　decontamination of metal by melting　通过对被污染金属的熔融，将放射性污染物截留于熔渣、炉衬和通风系统内或被挥发掉以实现金属去污的过程。金属熔融时大部分放射性污染核素的氧化物和其他金属氧化物一起浓集于熔渣中与熔融金属分离。某些放射性核素（如^{137}Cs）易挥发，故需设置专门的排气处理系统。产生的熔渣需经整备后进行处置。金属熔融去污的效果与助熔剂种类、熔炼时间和熔炼温度等因素有关。金属熔融法一般用于金属放射性污染很轻，并考虑要回收利用的场合。在核设施退役中会产生大量被污染的金属，应进行去污和监测，达到清洁解控水平后才能进行金属熔炼和回收利用。

（撰写：王显德　审订：孙东辉）

jinshuyou

金属铀　metallic uranium　呈金属形态的铀，包括铀及含少量合金元素的调质铀（参见铀合金）。与铀的化合物相比，金属铀的易裂变原子密度高，在石墨或重水慢化的反应堆中，用天然金属铀即可达到临界。在反应堆发展初期，金属铀是最早得到实用的核燃料。但随着反应堆向高性能、高燃耗方向发展，金属铀已不再满足要求。金属铀的性质和缺点（参见铀和金属燃料）。　（撰写：李文埮　审订：张忠岳）

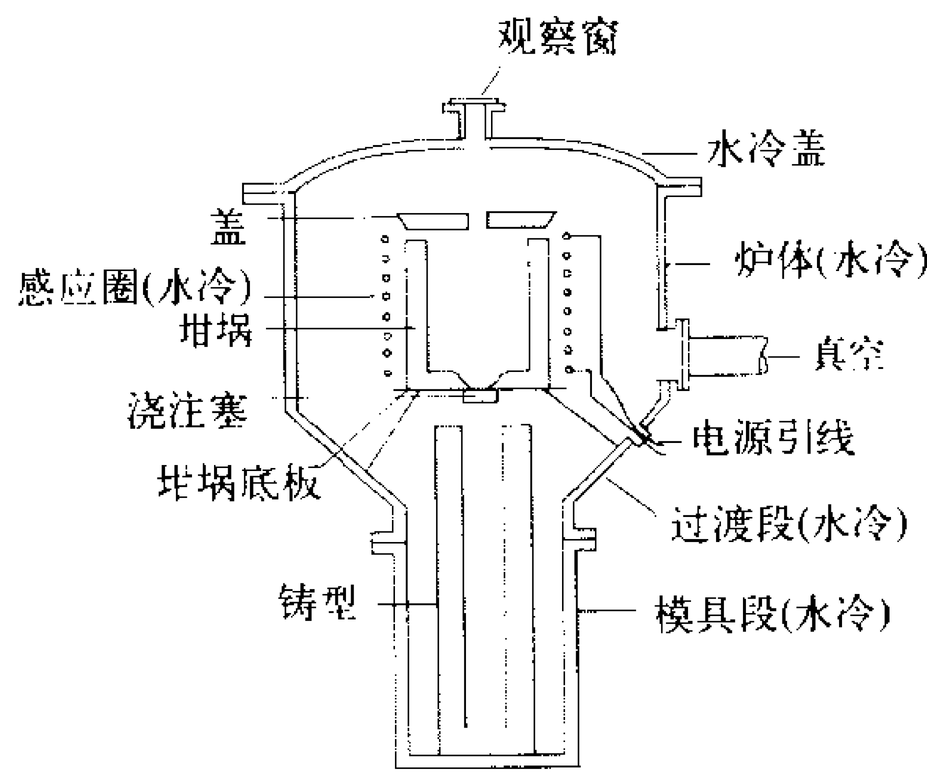
jinshuyou de rechuli

金属铀的热处理　heat treatment of metallic uranium　为了获得符合要求的微观结构和性能，对固态金属铀进行加热、保温和冷却的加工工艺。α铀的晶体结构呈各向异性，β铀的晶体结构尤其复杂，铸态铀的晶粒粗大并在α相加工中产生有害的织构等，都需要进行热处理予以改善。为达到不同的目的，金属铀的热处理可在α相、β相或γ相温度范围内进行。α相热处理可消除加工硬化效应和塑性变形后的再结晶细化β相淬火可使铸态金属铀的粗大晶粒细化并呈无规分布，但晶格发生严重畸变，仍需在α相区加热释放应力。γ相淬火、γ相加工铀可避免产生织构，但在高α区退火时，因再结晶而促使晶粒粗大。为此，尚需将γ相加工铀迅速冷却至α相区退火，然后水淬，最后晶粒尺寸可达到2～5 μm。

（撰写：李文埮　审订：张忠岳）

jinshuyou de zhenkong ronglian

金属铀的真空熔炼　vacuum melting of metallic uranium　将由钙还原法生产的金属铀粗锭借助真空下的感应（或电阻炉）熔炼使铀纯化的方法。与电弧熔炼法相比，感应熔炼法的优点是：铸模无须强烈冷却，可生产多种外形铸件。其缺点是：成本高、电源可靠性差、倾斜式炉与感应圈配合的技术困难，在部分真空下会发生不稳定放电电弧等。电阻炉是坚固、简单、可靠的熔炼装置，但它只适用于小规模应用。金属铀的真空熔炼广泛采用底部倾注式真空感应炉（见图）。根据装料量和熔体杂质允许量，选用合适的坩埚材料。由产品纯度的高低可分别采用难熔金属氧化物和石墨坩埚，对小熔件熔炼，石墨坩埚内壁需涂ZrO_2或ThO_2、MgO、$MgZrO_3$层。需降低碳、氧和金属杂质含量时，高纯BeO和UO_2是常用的坩埚材料。真空感应炉坩埚装料一般可从100 g到1t。



铀的真空感应熔化装置示意图

（撰写：李文埮　审订：张忠岳）

jinshuyou de zhijie zhuzao

金属铀的直接铸造　direct casting of metallic uranium　将由镁（热）还原UF_4所生成的液体金属铀直接浇入位于反应弹下部的铸型凝固成铀锭的铸造方法。该铀锭叫做直接铸锭，又称还原铸锭。与其他经精炼（如电解精炼）后的铸锭相比，直接铸锭的碳含量较低，总杂质约150 μg/g，为质量最好的工业产品。该铸锭无须进一步纯化便可用来加工燃料芯体，因此降低了制造成本。直接铸锭的缺点是氢含量略高，约3 μg/g，晶粒粗大呈柱状，铸锭外形不适于轧制。对此可采取去除装料中的水分和含氢气体、预热反应弹以及芯体除气等措施。　（撰写：李文埮　审订：张忠岳）

jinshuyou de zhuzao

金属铀的铸造　casting of metallic uranium　将熔融的金属铀在1643～1723 K时浇入铸型，冷却凝固形成金属铀铸件的工艺。金属铀铸造具有工艺简单、成本低、铸件晶粒呈无规取向及无须表面加工等优点；其缺点是铸件晶粒较粗大，由工艺造成的铸件缺陷较难控制。铸件的质量取决于铸型设计和浇铸工艺。常用的铸型有石墨型和金属型。为了获得好的表面质量可采用铜型，铸型应设计得有利于梯度加热，并提供合适保温帽以避免铸件顶部直径过小和中心缩孔等缺陷。细心控制浇铸温度、浇铸速率和冷却速率可防止冷隔、模具侵蚀、晶粒长大和杂质离析。一种专用于制造U–Pu–Zr合金芯棒的工艺称为喷射铸造（俗称压力铸造），已在美国EBR–Ⅱ实验快堆的后处理—再制造一体化中得到了应用。

（撰写：李文埮　审订：张忠岳）

jinshuyou jiagong

金属铀加工　metallic uranium fabrication　将金属铀坯或半成品的形状、尺寸、表面状态或性质进行转变并使其符合产品要求的各种工艺。金属铀的加工包括铸造、锻造、轧制、挤压、拉拔、切削、焊接和热处理等。铸造态铀的晶粒粗大，呈无规取向。用β相淬火可细化晶粒。铀的轧制和挤压可在γ相或α相进行，γ相加工只产生轻微的织构，延性好，能量消耗低，易加工。但需采取防止铀氧化的措施。α相加工可得到尺寸较精确的产品，加工余量可留得少一些。金属铀的切削须用碳化钨刀头，切削时须用专用润切液冷却以减少刀具磨损和铀金属表面被腐蚀，并防止铀屑着火和对空气的污染。为

了使金属铀产品有细小的晶粒和无织构的组织，应尽可能把产品的机加工、校直等工序安排在产品热处理之前进行。

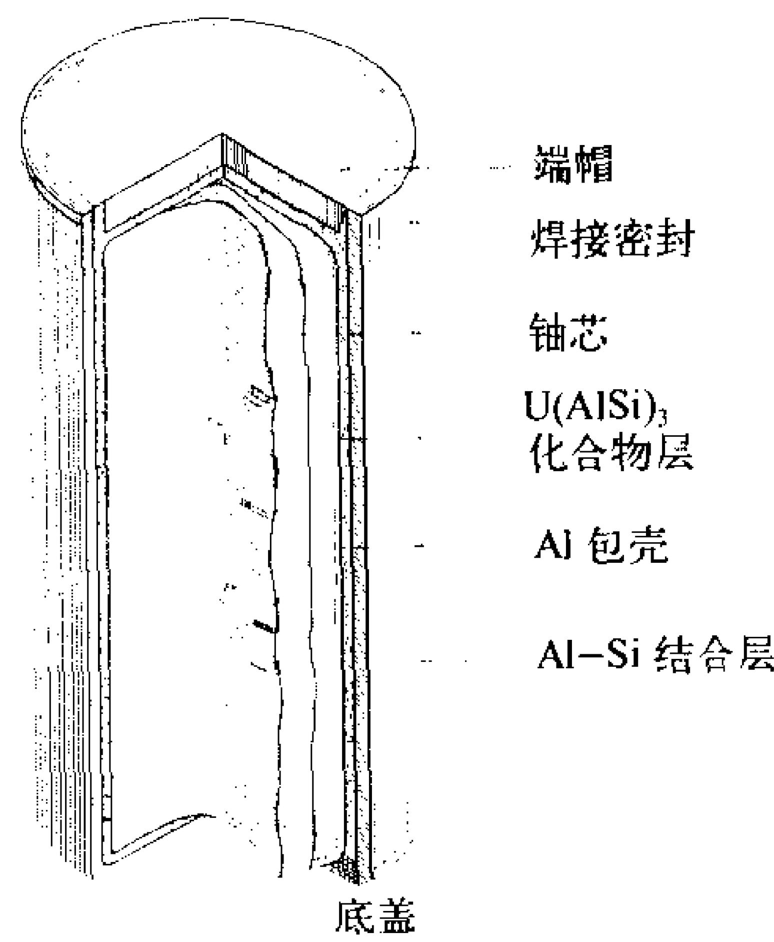
（撰写：李文埮　审订：张忠岳）

jinshuyou ranliao yuanjian

金属铀燃料元件 metallic uranium fuel element 芯体是铀或铀合金的燃料元件。根据堆型的不同，这类元件的芯体采用调质 α 金属铀或 γ 铀合金，包壳相应选用铝合金或镁合金，锆合金或不锈钢。金属铀燃料元件有柱状、棒状和管状三种形式。燃料芯体由 α 相 (873 K) 或 γ 相 (1053 K) 轧制或挤压成型，再借助 β 相淬火消除由加工引起的晶粒择优取向（参见织构），最后经矫直和精加工而成。芯体的包覆工艺可采用轧制或共挤压，使与包壳达到机械结合或中间层（镀 Al–Si 层）冶金结合，也可采用自立型包壳，间隙充氦或充钠。包壳上可预制肋片以改善元件的传热性能，并增强结构刚度。金属铀燃料元件曾用于低温、低燃耗的研究堆和生产堆。由于这类元件燃耗不高，经济上缺乏竞争力，近代的动力堆已不再使用。　（撰写：李文埮　审订：张忠岳）

jinshuyou yuanjian de jiehe

金属铀元件的结合 bond of metallic uranium element 将金属铀燃料密封在包壳里的特定装配形式。金属铀元件的结合具有两个功能：把热量从燃料传递给包壳和保持元件的尺寸和结构稳定性。按结合方式划分，金属铀元件的结合有紧密包覆和间隙充传热介质粘结两类。后者已在钠冷快堆金属燃料棒中得到应用。根据界面结合方式，紧密包覆又分为机械结合和冶金结合两种。机械结合借助静液压、热气压、挤压和拉拔等工艺使包壳与燃料芯体达到紧密结合。芯体可以是棒、板、圆管（见图）。冶金结合又有中间层冶金结合和直接冶金结合之分。它们分别通过有无中间层使芯体与包壳形成扩散结合。常用的中间层有 Ni,Al–Si 共晶合金。直接冶金结合采用热轧或热挤压工艺。中间层冶金结合有浸泡法 (Al–Si 层) 和热压法（镍中间层），这种结合适用于铝包壳的金属铀燃料元件。　（撰写：李文埮　审订：张忠岳）



铝包壳铀燃料元件的中间层冶金结合

jinji fanghu xingdong

紧急防护行动 urgent protective actions 必须立即（几小时内）实施的防护行动，如果时间拖延了，这些防护行动的有效性将大大降低。实施紧急防护行动的目的是将公众可能接受的剂量控制在确定性健康效应的剂量阈值之下，以明显降低确定性健康效应的危险，也通过减少辐射剂量降低随机性效应的发生率。应尽可能直接根据事故类别而不是环境监测进行紧急防护行动的决策。可供采用的最有效的紧急防护行动有隐蔽、撤离和服用稳定碘。还可以采取某些附加的防护措施为主要防护措施提供补充。这些附加的防护措施包括：进出口通道控制、临时准备的个人呼吸道防护、淋浴及更换衣服以及使用个人防护服等（参见应急防护行动）。（撰写：陈竹舟　审订：施仲齐）

jinji fanghu xingdong jihua qu

紧急防护行动计划区 urgent protective action planning zone 在某些核设施（主要是核电厂）周围建立的，准备在事故时根据环境监测迅速采取防护行动的区域。这是国际原子能机构目前推荐的新的应急计划区类别中的一种。该区的目标是通过实施紧急防护行动，降低确定性健康效应的风险，也降低公众可能接受的辐射照射（参见应急计划区）。

（撰写：陈竹舟　审订：施仲齐）

jinlu caikuangfa

进路采矿法 slicing from raise 在矿房中央掘进上山，在上山左右侧掘进水平进路或倾斜进路回采矿房的铀矿开采方法。采场出矿通过进路电耙与上山电耙将矿石运出采场，采场顶板采用锚杆、木垛、木支柱等进行支护。这种方法适应于倾斜、缓倾斜、中厚的铀矿床开采。由于使用灵活，采矿成本较低，便于机械化。进路法是铀矿山总结煤矿开采中长壁式、短壁式采矿法的基础上研究出来的一种采矿方法，在 20 世纪 60 年代末期，对解决倾斜、中厚、沉积型铀矿床开采起过很大作用，尤其在进路法的基础上提出了高进路低采幅的方案，攻克了对薄的与极薄沉积型铀矿床开采的难题，以及上下盘围岩与矿体均很破碎矿体回采的难题。

（撰写：李开文　审订：郑仕忠）

jinchang

近场 near field 废物库及其附近的地质介质，包括废物体、回填（或缓冲）材料、工程构筑物以及由于废物库的存在可能改变其整体特性的、紧邻废物库的地质介质。在放射性废物处置领域，近场与远场是为方便模式计算而划分的，它们之间并没有严格的界定。近场的功能是将放射性核素局限于废物库以内，并防止外界因素的干扰，以减少天然降水或地下水的渗入，防止动、植物的侵入，阻止核素向远场的释放。

（撰写：刘春立　审订：王志明）

jindibiao chuzhi

近地表处置 near surface disposal 将废物置于地表上或地表下，设置或不设置工程屏障，最后加几米厚的防护覆盖层，或者是将废物置于地表下几十米深的洞穴中的处置方式。近地表处置适用于短寿命低、中放废物的处置。一般认为，隔离三五百年就可达到安全水平。近地表处置早期采用的简易土沟、土坑埋藏方法，已逐渐弃之不用。现在大多采用混凝土沟壕、混凝土窖仓、混凝土井筒或地面墓堆。法国芒什 (La Manche) 处置场和奥布 (L'Aube) 处置场、西班牙埃尔卡博利尔 (El Cabril) 处置场和日本青森县六个所 (Rokkesho) 处置场是典型的近地表处置场的例子。我国广东北龙处置场也采用类似的设计。瑞典、芬兰的近地表处置场则是建在滨海海底的花岗岩中。还有的将废物放置在已有的或专门新建的岩洞中，或者处置在改造过的废矿井中。近地表处置国际上已有比较成熟的经验，并且证明可以确保短寿命低、中放废物获得安全的隔离。　（撰写：罗上庚　审订：范显华）

jinjuli fangshe zhiliao

近距离放射治疗 brachy radiotherapy 将密闭放射源置于

身体表面或接近病灶部位进行照射的一种放射治疗方法。密闭放射源一般是通过施源器或传输导管直接放入人体组织内或天然腔内对病灶进行近距离照射。根据照射方式，近距离放射治疗大体可分为腔内治疗，组织间插植治疗，管内照射和表面敷贴照射等治疗方法。近年来随着后装技术的发展，近距离治疗更为简便、安全而可靠。目前广泛用于宫颈癌、宫体癌、鼻咽癌、食道癌、支气管癌、直肠癌、乳腺癌、前列腺癌等肿瘤的治疗以及血管再通术后预防或治疗再狭窄。常用的放射性核素有 ^{137}Cs, ^{60}Co, ^{192}Ir, ^{252}Cf, ^{188}Re 等。

（撰写：王荣福　审订：吕延晓）

jinchulü

浸出率　leach rate　放射性核素从废物体中浸出的速率。浸出率有多种方法表示，通常用单位时间里自单位表面积固化体内浸出的某种组分的质量表示 g/(cm² · d)。为确定固化体的浸出率所进行的浸出试验有静态浸出试验、动态浸出试验和现场浸出试验等。影响固化体浸出率的因素很多，除固化体自身的化学稳定性外，还与测试浸出率所用的方法以及具体测试条件有关，诸如水相介质的组成、温度、压力、时间、固化体表面积与水相介质体积之比，等等。因此用浸出率评价不同固化体的化学稳定性，应该采用同样的试验方法，在同样的测试条件下测得的浸出率。

在铀矿加工、铀的堆浸或地浸作业中，浸出率系指溶入浸出剂的铀占原矿中含铀量的百分数。

（撰写：汤宝龙　审订：罗上庚）

J

jinchu shiyan

浸出试验　leaching test　测试固化体浸出率的试验。浸出试验主要目的是：(1) 比较不同种类或不同组成的废物固化体的浸出率；(2) 比对不同实验室对同一种废物固化体的浸出率；(3) 比较不同固化过程所制得的废物固化体的浸出率；(4) 提供处置的长期安全评价的输入数据。浸出试验对样品的制备，浸出剂的种类、用量、更换周期，浸出容器材质，浸出温度和时间等均有严格要求。浸出试验有静态法和动态法之分。虽然，浸出试验适用于评价固化体在实验室控制条件下的抗浸出性能，不宜由此结果外推固化体在实际长期贮存条件下的浸出数值，但目前世界上仍普遍采用浸出试验来比较和评价各种固化体和作为废物包可接受处置的依据之一。

此外，在铀矿加工方面，通常也对铀矿石进行浸出试验，以测定设计铀浸出工艺设计所需要的参数。

（撰写：范显华　审订：曾继述）

jinchuye nongdu

浸出液浓度　leachate concentration　铀矿加工、堆浸或地浸过程中所形成浸出液中铀的含量。常用单位为 mg/L。浸出液铀浓度是影响地浸采铀生产成本十分敏感的因素。而影响浸出液铀浓度的因素有：平方米铀量、矿层与含矿含水层厚度比值、井距、溶浸液配方等。有时矿石平方米铀量较高，但矿石渗透性较围岩渗透性差，矿石中铀难以与溶浸液接触，其浸出液铀浓度也较低；相反，一些矿石品位低、矿石渗透性好、厚度大、浸出液铀浓度也高。不同浸出期，浸出液浓度也不同，当浸出率达到 10%～20% 之前，浸出液铀浓度呈急剧增加，当浸出率为 60%左右时，浸出液铀浓度开始下降。

（撰写：苏学斌　审订：李开文）

jinchan

禁产　prohibition of the production of fissile material for nuclear weapon　禁止为核武器或其他核爆炸装置生产易裂变材料。禁产问题早在核武器问世后不久，1946 年美国就提出过，由于核大国利益的矛盾，未能把禁产问题提到军控的议事日程上来。直到 1993 年 12 月 16 日第 48 届联大才以协商一致的方式通过了“禁止生产用于核武器或其他核爆炸装置的易裂变材料”的第 49/75 L 号决议，该决议要求：“在最适当的国际论坛中就一项非歧视性的、多边的、可有效国际核查的禁止生产核武器或其他核爆炸装置用易裂变材料的公约进行谈判。”此后，联合国日内瓦裁谈会 (CD) 从 1994 年初便开始讨论禁产公约 (Fissile Material Cut-Off Treaty，FMCT) 谈判问题，但由于在禁产特委会职权、同核裁军谈判挂钩、现有库存等问题上存在重大分歧，因此，至今未能就禁产公约的谈判达成一致意见。

（撰写：金惠民　审订：严叔衡）

jinchan hecha

禁产核查　verification of the fissile material production cutoff　针对未来《禁产公约》而建立的国际核查体制，旨在确保所有缔约国遵守该公约的各项规定。禁产核查直接涉及到各国的切身利益，是禁产公约谈判中最复杂的议题之一，各方争论很大，意见不一。与其他军控条约核查一样，禁产核查应包括核查目标、核查范围、核查措施、核查程序、核查机构和经费等问题。

（撰写：金惠民　审订：严叔衡）

jinzhi shiyong he ji rehe wuqi xuanyan

《禁止使用核及热核武器宣言》　Proclamation on the Prohibition of the Use of Nuclear and Thermo-nuclear Weapons　1961 年 11 月 24 日，在第 16 届联合国大会第 1063 次全体会议上通过。从 20 世纪 50 年代开始，美、苏核军备竞赛愈演愈烈，特别是在美、苏分别于 1952 年 10 月和 1953 年 8 月成功进行氢弹试验后，核试验的次数也迅速增加。1958 年 4 月，苏联曾宣布停止核试验，并要求西方国家作出同样的决定，但美国以停试无法核查为由加以拒绝。1961 年美、苏关系恶化，苏联遂以作为北约成员国的法国继续进行核试验增加了西方的核能力为由，于同年 9 月恢复了核试验，并在 60 天内进行了 30 次核试验。核军备竞赛的加剧引起国际社会的广泛关注，联合国第 16 届大会认为，“核及热核武器之使用将使人类及其文化普遍横遭荼毒及毁灭”，因此必须采取一切可能之预防措施，保护人类及其文化免遭核及热核浩劫。宣言通过后的第二年，即 1962 年，美、苏、英、法四国共进行了 171 次核试验，这也是历史上核试验次数最多的一年。

（撰写：段占元　审订：唐西生）

jinzhi zaidaqiceng waiceng kongjian he shuixia jinxing hewuqi shiyan tiaoyue

《禁止在大气层、外层空间和水下进行核武器试验条约》　Treaty Banning Nuclear Weapon Tests in Atmosphere, Outer Space and Under Water　简称《部分禁止核试验条约》。1963 年 8 月 5 日，美国、英国和苏联在莫斯科签署，8 月 8 日在华盛顿、伦敦和莫斯科开放供签署，同年 10 月 10 日生效，无限期有效。条约由序言和 5 条正文组成。条约规定，缔约国承诺不在大气层、外层空间和水下进行任何核武器试验爆炸或任何其他核爆炸。缔约国如断定与条约主题有关的非常事件已危及本国最高利益，有权退出本条约，但该缔约国应在三

个月前将其退约一事通知所有其他缔约国。如果三分之一的缔约国提出请求，条约保存国必须召开缔约国大会研究修约问题。到 1995 年 1 月，共有 124 个缔约国。法国和中国虽未加入该条约，但分别于 1974 年和 1980 年宣布停止在大气层、外层空间和水下进行核试验。

（撰写：段占元　审订：唐西生）

jinzhi zaihaichuangyangdi jiqi ditu anzhi hewuqi he qita daguimo huimiexing wuqi tiaoyue

《禁止在海床洋底及其底土安置核武器和其他大规模毁灭性武器条约》 Treaty on the Prohibition of the Nuclear Weapons and other Weapons of Mass Destruction on the Sea-bed and the Ocean Floor and in the Subsoil Thereof　简称《海床条约》。1970 年 12 月 7 日联合国大会通过，1971 年 2 月 11 日于华盛顿、伦敦、莫斯科开放供签署，1972 年 5 月 18 日生效。至 1995 年 1 月，共有 92 个国家签署并交存批准书。

条约由序言和 11 条正文组成。主要内容是：(1) 缔约国承诺为和平目的开发与使用海床洋底，防止在海床洋底进行核军备竞赛；(2) 禁止在 12 n mile 领海海床区以外的海床洋底及其底土安置任何核武器或任何其他类型的大规模毁灭性武器，以及专为贮存、试验和使用上述武器而设计的建筑物、发射装置或其他设备；(3) 禁止协助、鼓励或引导任何国家进行上述活动，及以任何其他方式参与这类行动；(4) 上述领海海床区外部界限的确定，应与 1958 年 4 月 29 日签订的日内瓦《领海及其毗连区公约》有关规定相符；(5) 任一缔约国有权自行或在其他缔约国协助下，或在联合国范围内，进行条约规定的核查，但核查以不妨碍其他缔约国的活动为限；(6) 若按条约规定程序核查后，缔约国对条约是否得到履行仍有严重怀疑，可将问题提交联合国安理会审理。中国于 1991 年 2 月 28 日加入该条约，并在加入书中申明：条约任何规定均不得解释为以任何方式损害中华人民共和国对其领海及邻接其领海的海域、海床及底土的主权和其他权利。

（撰写：段占元　审订：唐西生）

jingdian chaoji moxing

"经典超级"模型 classical super design　第二次世界大战期间，在美国探索氢弹设计原理初期，由E.特勒提出的一种由裂变爆炸引燃大量液氘形成自持热核燃烧的设计模型。最初叫"超级"(Super) 模型。这种设计的基本思想是用裂变爆炸放出的中子来点燃液氘长圆柱的热核燃烧，即用裂变爆炸释放的能量将一部分热核燃料加热到点火条件，这部分燃料燃烧释放的能量再加热相邻部分的热核燃料达到点火条件，燃烧区在热核燃料中的传播形成自持热核燃烧。由于这种模型牵涉到复杂的物理过程，但受当时计算条件的限制无法对其科学可行性迅速作出判断。直到1950年底在计算机上进行计算后才确认这种模型是行不通的，因为能量的损失比产生的快，使得在热核燃料中不能形成传播的自持热核燃烧。

（撰写：郑绍唐　审订：竺家亨）

jingdian huixuan jiasuqi

经典回旋加速器 conventional cyclotron　最初的回旋加速器。其原理是当带电粒子在垂直于磁场方向运动时受洛伦兹力作用而做回旋运动，在粒子回旋平面上使用高频电压谐振加速，从而使粒子能量不断提高。在加速过程中，尽管粒子轨道很长，却限制在一个很小的区域之中。为保证所有粒子在加速过程中的稳定运动，由激磁电流产生的磁场分布应随加速器半径的增加而稍微减弱。然而，为确保粒子的谐振加速，考虑到相对论效应，磁场分布应随加速器半径的增加而增加。因此，这种加速器从原理上有一个能量极限的问题。此外，为达到粒子的极限能量，对高频电压也有一个阈电压的限制。目前，已很少建造这类加速器。

（撰写：王义芳　审订：魏宝文）

jingjian fushi

晶间腐蚀 intergranular corrosion　又称晶界腐蚀。因金属中晶界组分在介质中的溶解速率大大高于晶粒本体而产生的一种局部腐蚀现象。发生了晶间腐蚀的金属，由于其晶间结合力的丧失，使强度、塑性和韧性大大降低，因此晶间腐蚀是一种危害性很大的腐蚀类型。一般认为晶间腐蚀是因为金属或合金在晶界上发生某些易溶物质或金属组分的偏析，或晶界物质和基体本身因电位不同而组成电偶，晶界成了阳极所致。奥氏体不锈钢和 Al–Mg–Si 合金就是具有晶间腐蚀倾向的材料。降低钢中的碳含量、添加与碳有更大亲和力的钛或铌，进行稳定化处理均可缓解晶间腐蚀现象。此外，采用预先冷加工硬化也可以减小不锈钢对晶间腐蚀的敏感性。

（撰写：张汝娴　审订：李文埃）

J

jingtiguan de fushesunshang xiaoying jiqi jiagujishu

晶体管的辐射损伤效应及其加固技术 damage effect and hardening techniques of radiation to transistors　辐射对不同类型晶体管的损伤机理及其相应的加固办法。MOS型场效应晶体管的辐射损伤主要表现在电离辐射环境下性能退化，包括：阈值电压漂移、跨导降低、亚阈值电流增大、$1/f$ 噪声增大等。其加固技术包括：硅片选用〈100〉晶向，栅氧化前用 HCl 蒸汽腐蚀表面，或先长厚氧化层，再腐蚀掉，减少表面缺陷；氧化条件选用 1000℃ 干氧化或采用 850℃ 下烧氢氧化制备栅氧化层等。双极型晶体管的辐射损伤是辐射缩短少数载流子寿命，使二极管正向压降增大，反向漏电流增大等。其加固技术包括：改善双极型晶体管的物理结构设计，如减薄基区宽度，减薄集电区高阻层厚度，提高其掺杂浓度；采用以金为主体的金属化系统；采用表面钝化技术等。结型场效应晶体管 (JFET) 和砷化镓肖特基势垒场效应晶体管 (GaAs MESFET) 的辐射损伤是 γ 射线和中子辐射引起沟道中载流子迁移率降低，沟道电阻增大，饱和漏极电流减小，跨导和特征频率降低，其加固办法是增加沟道净掺杂浓度等。静电感应型晶体管 (SIT) 的辐射损伤主要是中子辐射对载流子除去效应对沟道掺杂浓度的影响，退火可部分消除辐射缺陷。

（撰写：倪建平　审订：赖祖武）

jingzhiyoukuang

晶质铀矿 uraninite　铀的简单氧化物，理论化学式是UO_2。该矿物发现于捷克的雅希莫夫铀矿床。自然界的晶质铀矿中铀部分呈六价状态，且含有钍、稀土、铅等元素和水。化学式为：$(U^{4+}, U^{6+}, Th, TR, Pb)O_{2+x}$。等轴晶系，晶体呈立方形、八面体、菱形十二面体或其聚形，晶质铀矿常形成



晶质铀矿晶体(王爱珍提供)

隐晶状的肾状、葡萄状、皮壳状集合体并称做沥青铀矿(pitchblende)。对结晶程度差的烟灰状的晶质铀矿的集合体称做铀黑(uranium blacks)。晶质铀矿的性质随其化学组分的变化而变化，随着六价铀含量的增多，结晶程度、反射率、硬度、密度变低，颜色变浅。颜色为钢灰色、天鹅绒黑色到灰黑色。条痕为黑色到灰色。半金属光泽、沥青光泽到暗淡光泽。反射率 21%～6%，硬度 6～3，相对密度 10.63～3。结晶的晶质铀矿形成于岩浆作用和高温热液作用，与黑云母、磷灰石、方钍石等共生。沥青铀矿形成于中低温热液作用和沉积作用，多与金属硫化物、碳酸盐、微晶石英等共生。铀黑形成于表生作用，与表生的方解石和次生硫化物共生。

（撰写：赵凤民　审订：胡绍康）

jingliufa fenli tongweisu

精馏法分离同位素　isotope separation by rectification method　利用同位素化合物挥发性的差别用精馏来进行同位素分离的方法。若同位素分子形成理想溶液，则同位素蒸馏一级分离系数 α 应为

$$\alpha = (p^{\circ}_{AX_n} / p^{\circ}_{AX^*_n})^{1/n}$$

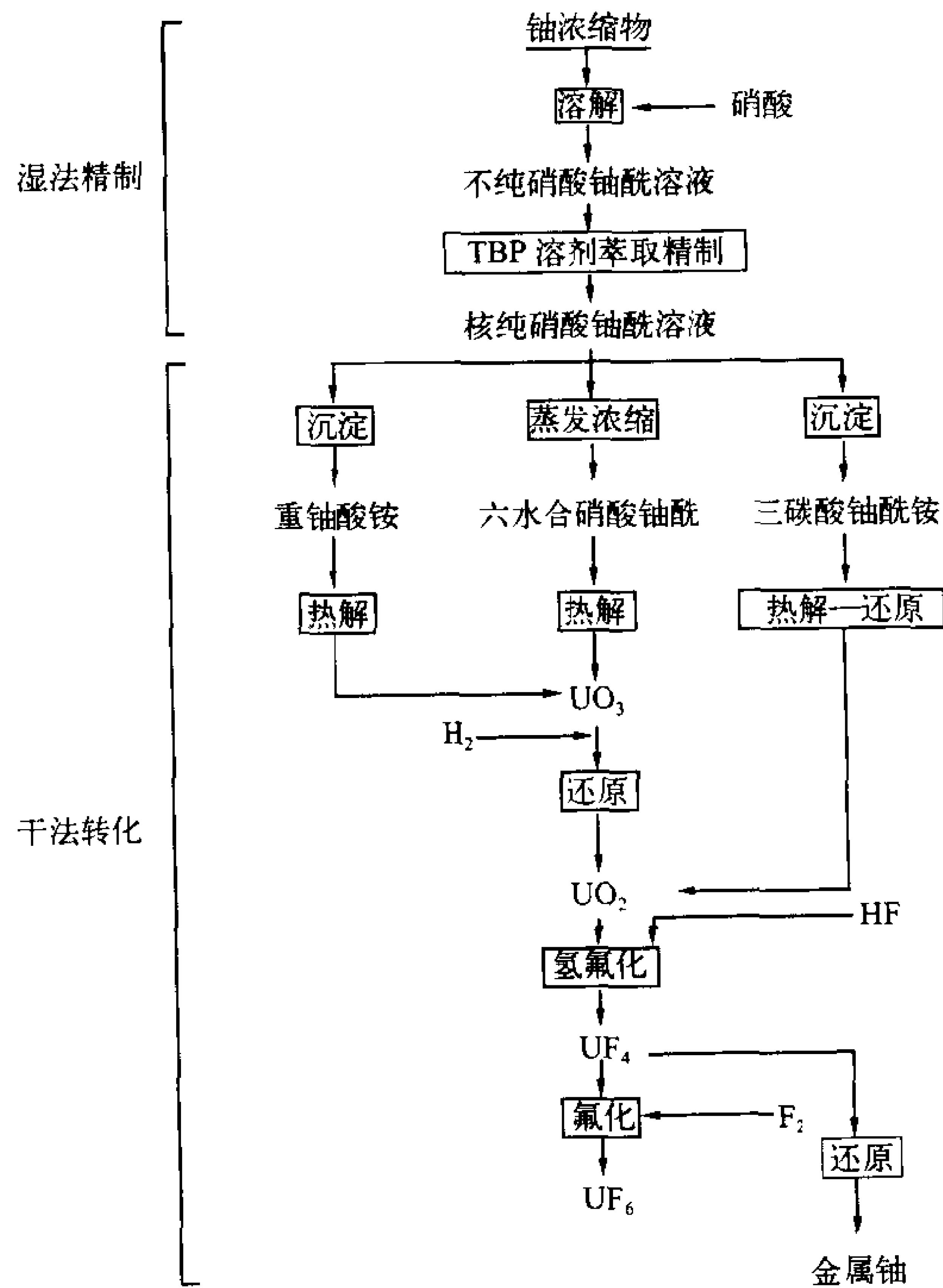
式中 p°为同位素化合物的饱和蒸气压；n为一分子中含该同位素原子的总数。目前仅水精馏（$\alpha = 1.026$）和液氢精馏（$\alpha = 1.81$）已用于工业规模生产重水及氘，其他同位素分离由于蒸馏一级分离系数太小而未见应用于工业。精馏法所用的主要设备是化工及石油工业中常用的高效塔板或填料塔。由于其一级分离系数一般均小于化学交换法（液氢精馏法除外），因此精馏法单位生产能力的原料滞留量大，平衡时间长，设备的体积也较大。

（撰写：李以圭　审订：朱永赌）

jingzhi fuhuafa liucheng

精制氟化法流程　refining fluorination process　目前核工业中由铀浓缩物生产 UF_6 的一种主要方法。由于流程中包括了铀浓缩物湿法精制和核纯铀酰盐干法转化为 UF_6 两个部分而得名。其典型工艺流程如图所示。精制氟化法由于包括了湿法精制，因此，在需要核纯中间产品 UO_2 和 UF_4 时，最好采用这种方法。此法的主要缺点是：生产流程复杂；溶剂萃取精制会产生大量废液。

（撰写：隋富志　审订：朱永赌）



精制氟化法典型工艺流程图

jingchang suanhua

井场酸化　wellfield acidification　在地浸采铀中将溶浸液注入地下，使浸出液的 pH 值达到 2～4，铀金属开始转入溶液（或浸出液中铀浓度到达具有工业回收意义值时）的过程。井场酸化分为常规酸化和超前酸化两种。常规酸化法常用于碳酸盐含量较高的矿床，其方法是使用浓度为 3～5g／L H_2SO_4 的溶浸液对矿层进行酸化，待 Ca^{2+}，Mg^{2+} 等基本浸出后，再采用浓度为 8～10 g/L H_2SO_4 的溶浸液进行浸出。常规酸法的优点是可防止 Ca^{2+}，Mg^{2+} 等沉淀影响矿层渗透性能，但酸化期长。超前酸化法常用于碳酸盐含量较低的矿床，包括两方面的含义：(1) 从已浸出的矿块中抽出尚残余的硫酸溶液，预先注入一个新的将要开采的矿块中；(2) 在只注不抽的条件下，将浓度为 15～20 g/L H_2SO_4 溶浸液通过拟作抽孔的钻孔注入采区，拟作注液孔的钻孔作为观测孔，待酸化结束后再恢复抽注液孔正常功能。超前酸化的优点是酸化期短，初期浸出液铀浓度高。

（撰写：苏学斌　审订：李开文）

jingxiang bujunyun yinzi

径向不均匀因子　radial peaking factor　堆芯内最热燃料元件（或组件）释热率与堆芯平均燃料元件（或组件）释热率之比。最热燃料元件释热率和所在燃料组件平均燃料元件的释热率之比为局部释热不均匀因子。该因子通过中子三维扩散方程求得。在反应堆运行过程中，堆芯内各处的燃耗是不均匀的，释热率大的地方，燃料消耗得多，因而径向不均匀因子会发生变化。

（撰写：李金才　审订：马昌文）

jingxiangshan huixuan jiasuqi

径向扇回旋加速器　radial fan cyclotron　见等时性回旋加速器。

jinghua jilian

净化级联　purge cascade　去除同位素产品中杂质的专用级联。往往有这样的情况，级联的取料中同位素的丰度已经达到要求值，但其中含有其他元素（称为杂质）。为此，需要专用的级联将杂质与目标同位素分开。以气体扩散法分离高浓铀为例，比如在精料端 ^{235}U 的丰度已达要求，但可能存在杂质金属的氟化物，还可能有 HF 等杂质。这些杂质都比 $^{235}UF_6$ 轻，为了将这些轻杂质与 UF_6 分离开，需要专用的净化级联。从净化级联的贫料端获得符合质量要求的最终产品。由于净化级联中要分离的轻杂质与 UF_6 的分子量相差很大，因此其分离规律和主级联有显著差别。

（撰写：应纯同　审订：刘广钧）

jingzhengqi chansheng qishidian

净蒸汽产生起始点　onset of net vapor generation (ONVG)　加热管内产生泡核沸腾后气泡开始脱离壁面、使主流液体中开始出现净蒸汽的位置。参见泡核沸腾起始点图，壁面上产

生的气泡由于气泡顶部表面受主流冷液体的冷凝作用而不能长大，只能在很薄的过热边界层内粘附在壁面上。随着主流液体温度的升高，气泡增多并变大，开始脱离壁面进入主流液体中。开始有净蒸汽的位置就叫净蒸汽产生起始点。

（撰写：郝老迷　审订：陈玉宙）

jingzhengxing danbai jiehe fenxi

竞争性蛋白结合分析　competitive protein binding assay (CPBA)　应用放射性核素标记的待测物与有限量的结合蛋白竞争结合反应测定待测物含量的分析方法。竞争性蛋白结合分析在原理上与放射免疫分析基本相同，然而，使用的特异性结合试剂不是特异性抗体，而是机体内天然存在的特异性结合蛋白质，如血浆中的甲状腺结合球蛋白(TBG)、性激素结合球蛋白(SHBG)、皮质类固醇结合球蛋白(BG)等。这些特异性血浆蛋白质来源丰富、制备方法简单，但特异性与灵敏度稍逊于特异性抗体。目前有几种维生素是采用竞争性蛋白结合分析法测定的，如内因子测定B_{12}，用一种鼠血清结合蛋白测定维生素D，用视蛋白测定视黄醛等。

（撰写：王荣福　审订：吕延晓）

jingdian fenxiqi

静电分析器　electrostatic analyzer　利用不同能量的粒子在相同电场作用下其偏转半径不同的原理，来实现对粒子的能量进行分析的束流光学元件。它分为平行板电极静电分析器，同轴柱面电极静电分析器和同心球面电极静电分析器三种。以同轴柱面电极为最常用。同轴柱面电极静电分析器在它的偏转平面上对束流具有聚焦作用和色散作用。同心球面电极静电分析器则在两个平面上都有聚焦作用和色散作用。

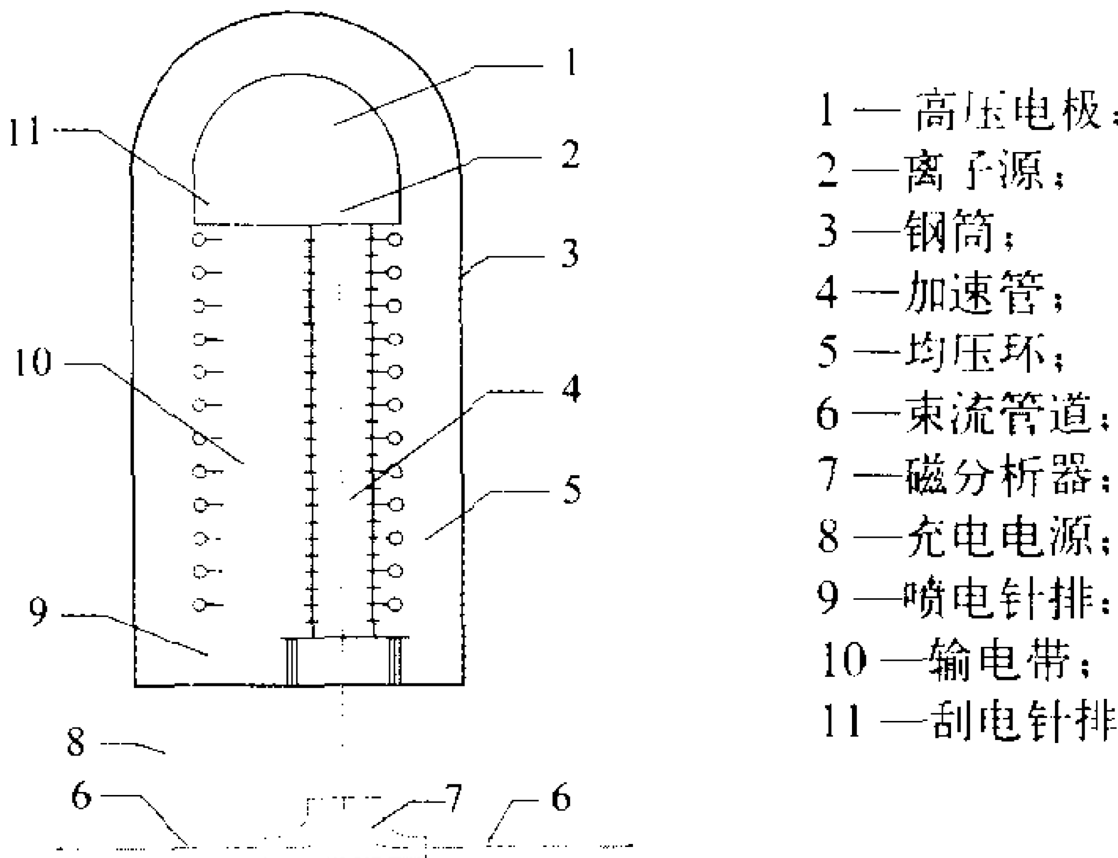
（撰写：关遐令　审订：王传英）

jingdian gaoya fashengqi

静电高压发生器　electrostatic high voltage generator　使电荷积累而产生静电高压的设备。它由高压电极、充电系统和绝缘支柱等部分组成。静电高压发生器产生高压的过程实质上是一个类似于向电容器充电升压的过程。高压电极是一表面光滑，边缘无棱角的半球状或圆柱状金属壳体，可以看成是一个对地的电容。充电系统不断地向高压头部输送电荷，对电容充电，从而使高压头部电位不断升高。绝缘支柱用于支撑高压电极。目前，常用的绝缘支柱由金属电极片与玻璃或陶瓷绝缘材料交替粘接或焊接而成。在大气下，由于空气击穿等原因，静电高压发生器难于获得很高的头部高压。为获得更高的静电高压，用于静电加速器的高压发生器都安装在大钢筒中，并充以几个到20几个大气压的绝缘气体(SF_6或N_2)，绝缘支柱外安装均压环，并用分压电阻将高压电极上的高压沿绝缘支柱均匀地分布到地电位。　（撰写：杨丙凡　审订：关遐令）

jingdian jiasuqi

静电加速器　electrostatic accelerator；Van de Graaff accelerator　一种利用直流高压静电场对带电粒子进行加速的高压型加速器(见图)。1933年美国范德格拉夫首先提出一种新的起电原理：一个圆筒形金属高压电极由几根绝缘柱支承。位于底部的电晕针排加电压后，电晕放电产生的离子(或电子)，由橡胶带输送到高压电极上形成直流高压。早期静电加速器工作在大气中，由于气体击穿，限制了高压进一步升高，最高电压为6 MV。后来发展为高气压型静电加速器，即把静电发



静电加速器示意图

生器，离子源和加速管等封在钢筒内，充以高压绝缘气体，大大地提高了电场击穿场强。静电加速器结构如图所示。静电加速器较其他加速器有如下特点：被加速离子的能量连续可调、离子的能量单一、可加速多种离子或电子、离子束聚焦良好、离子束靶点小。静电加速器是低能核物理实验的理想工具，同时还广泛应用于离子注入，材料分析、材料辐照等领域。

（撰写：秦久昌　审订：关遐令）

jingdian toujing

静电透镜　electrostatic lens　利用旋转轴对称的静电场来实现对带电粒子束聚焦的束流光学元件。静电透镜主要包括单间隙浸没透镜、膜片透镜和单透镜等。静电透镜的特点是结构简单、使用方便、占用空间小，但聚焦能力较弱。根据这一特点，静电透镜多使用在低能束流传输段上。但由于静电场的引入，会破坏空间电荷的中和作用，所以在强流情况下使用静电透镜要特别小心。

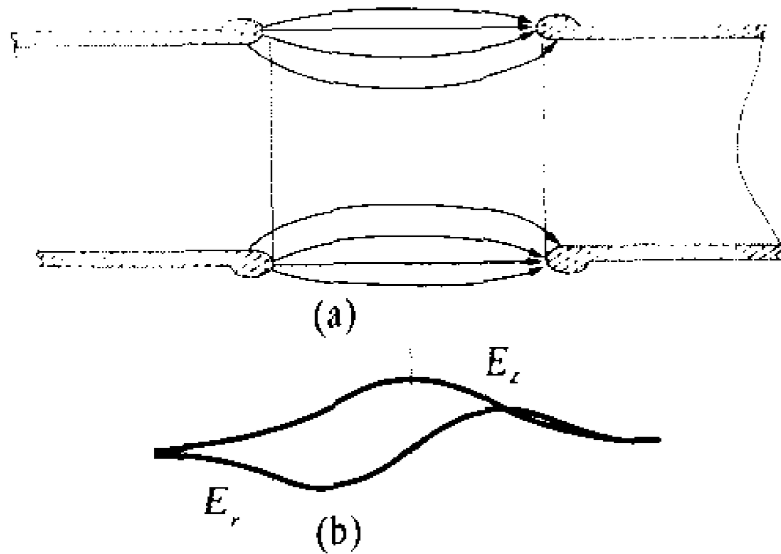


图1　单间隙浸没透镜示意图
(a)—电力线分布；(b)—电场强度

单间隙浸没透镜：由具有不同电位的两个圆筒电极构成的，它们可以是等径的也可以是不等径的。两个圆筒之间的畸变了的等位面产生的横向电场分量对带电粒子施以聚焦力，在旁轴光学的近似下，这个聚焦力是线性的。分析指出，单间隙浸没透镜不论是加速还是减速，粒子束都受到一个聚焦力(见图1)。膜片透镜：由一个带孔的金属膜片电极，将两个不同电位梯度的空间分开，在膜片所在的位置，畸变的等位面使得带电粒子束聚焦或散焦。膜片透镜出现在加速管的入口处、出口处以及加速梯度发生变化的电极片上(见图2)。单

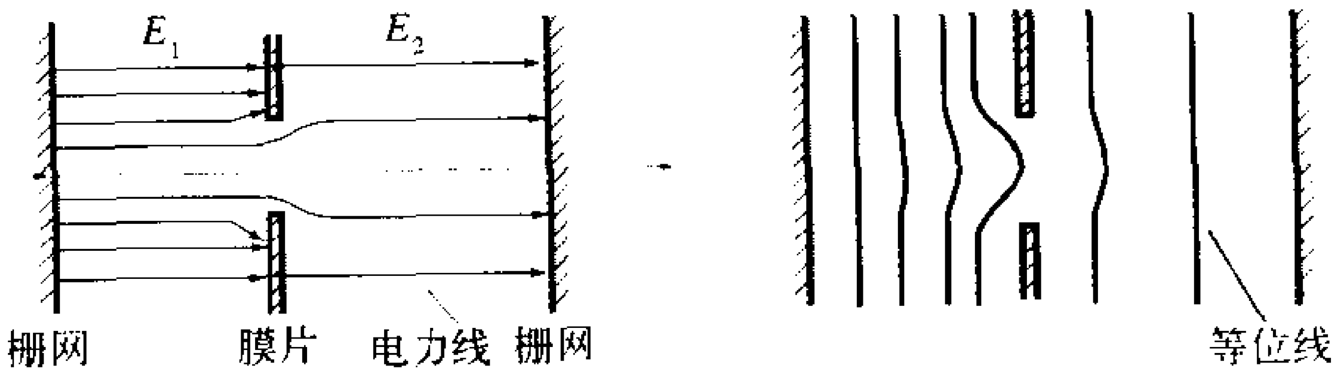


图2　膜片透镜电力线与等位线示意图

透镜：由3个圆筒或3个膜片构成的双间隙聚焦元件，又称为单电位透镜。3个电极的两个外电极加以相同的电位，中间电极加上另一可调电位，以实现对不同聚焦特性的调节(见图3)。

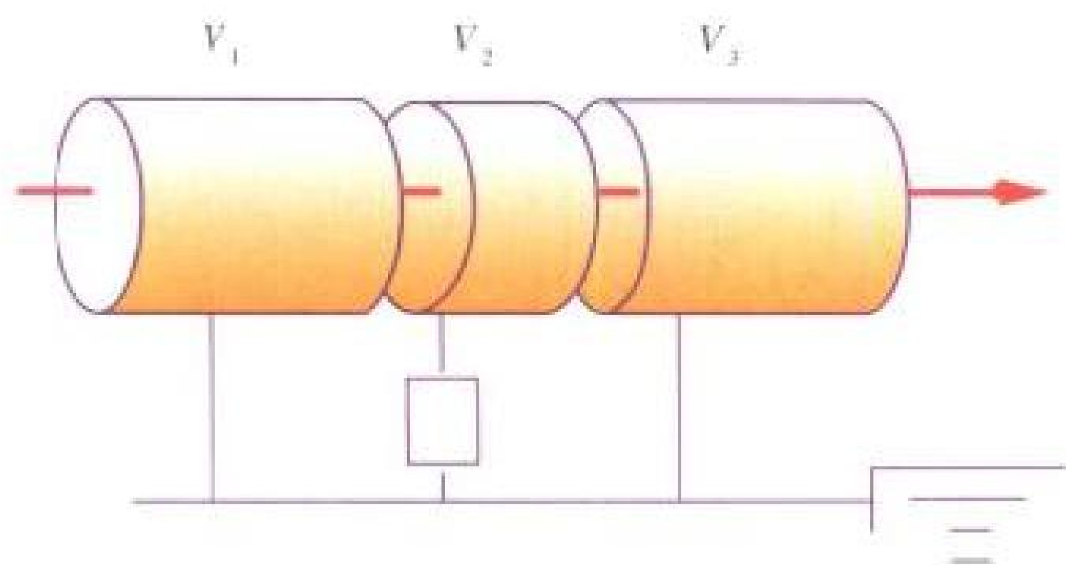
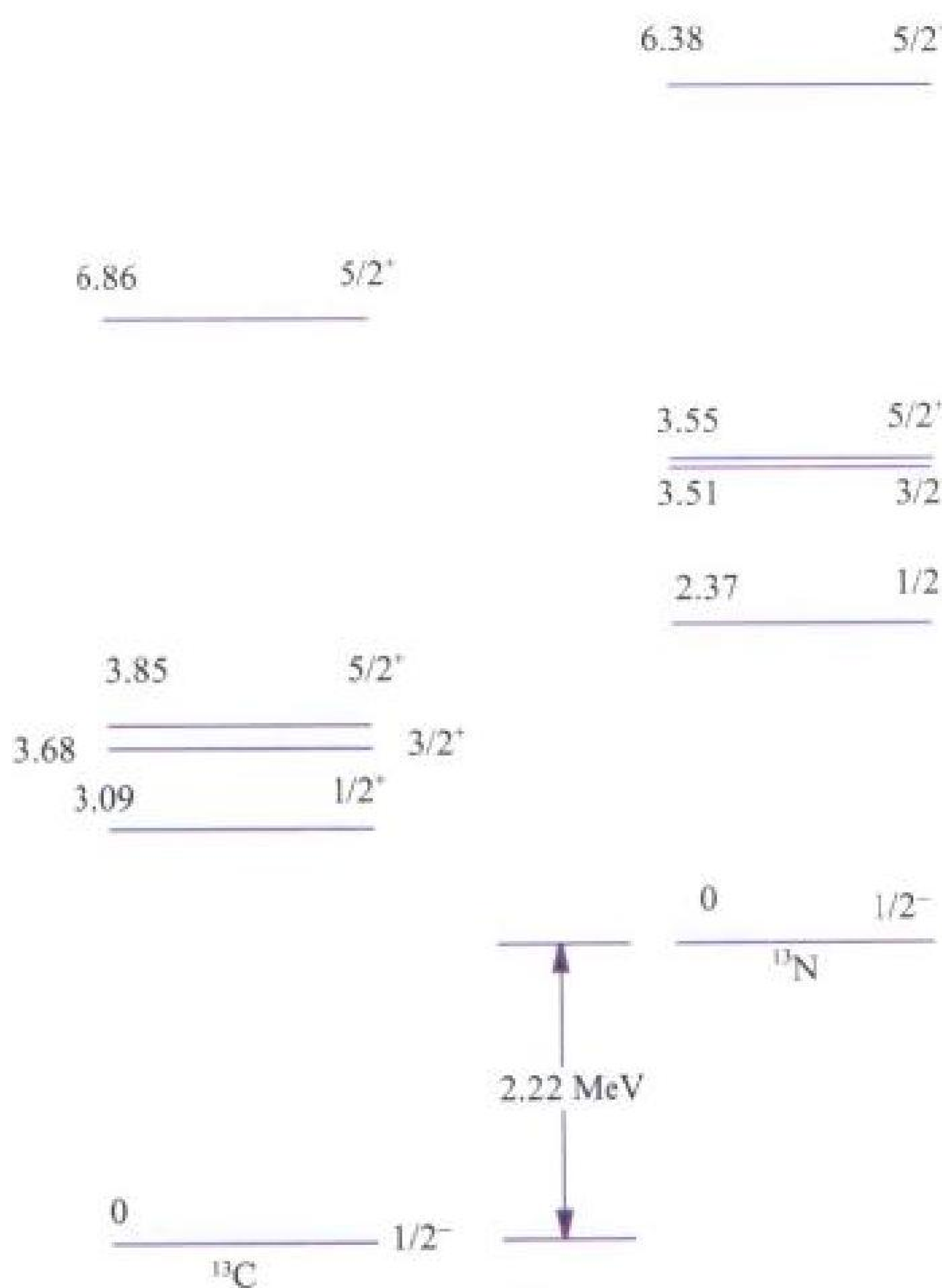


图 3 单透镜示意图

（撰写：关遐令 审订：王传英）

jingxianghe

镜像核 mirror nuclei 两个原子核具有相同的核子数，而其中一个的质子数等于另一个的中子数，则这两个原子核互为镜像核。例如$^{7}_{3}Li$–$^{7}_{4}Be$，$^{9}_{4}Be$–$^{9}_{5}B$，$^{11}_{5}B$–$^{11}_{6}C$，$^{13}_{6}C$–$^{13}_{7}N$，$^{14}_{6}C$–$^{14}_{8}O$，$^{20}_{8}O$–$^{20}_{12}Mg$，$^{23}_{10}Ne$–$^{23}_{13}Al$等。已有的实验表明，一对镜像核基态的自旋和宇称都相同，而且它们的能级图相似——对应的能级有相同的角动量和宇称，有近似相等的能级间隔（见图）。



镜像核^{13}C和^{13}N的能级

镜像核能级结构相似说明 p–p 核作用和 n–n 核作用相同，是验证核力电荷无关性的实验根据之一。

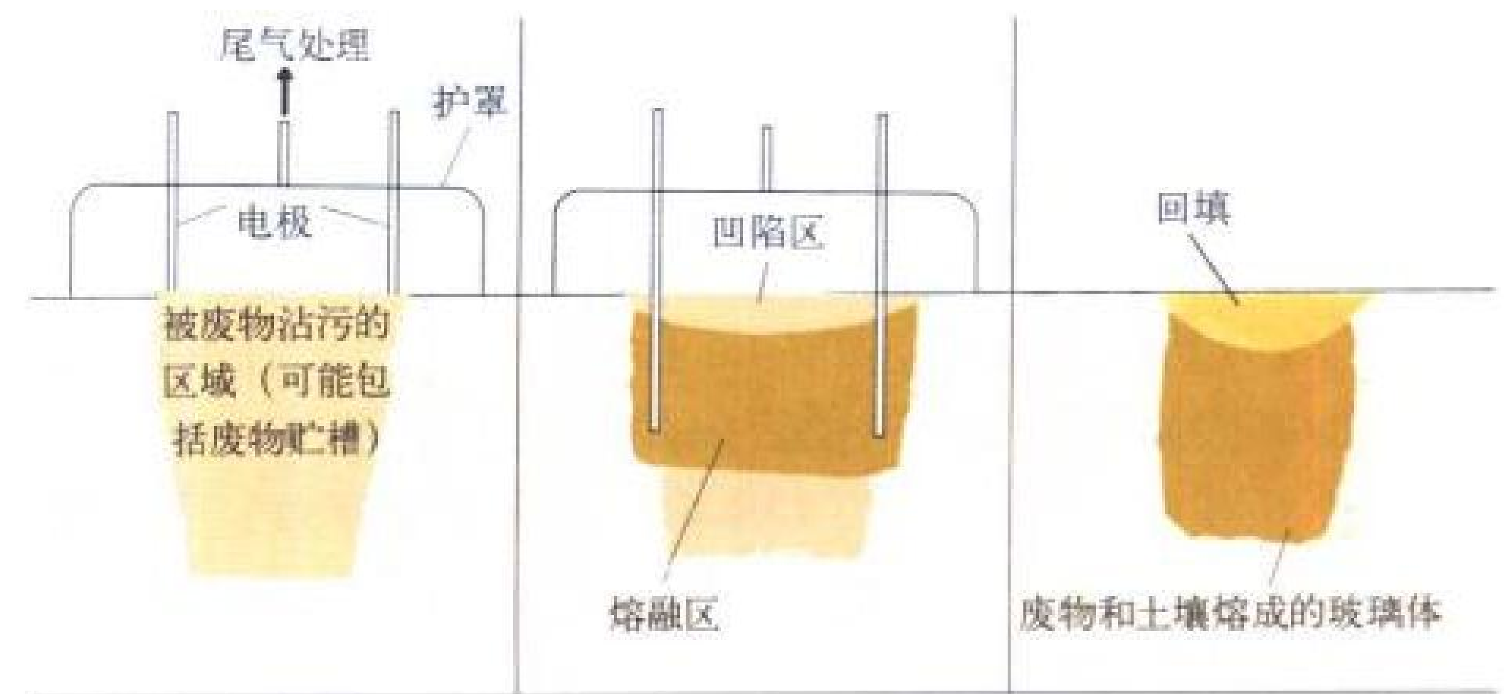
（撰写：高春媛 审订：卢希庭）

jiuzheng cuoshi

纠正措施 corrective action 建造或运行中的核电厂针对物项缺陷、文件和设计缺陷或管理缺陷所采取的纠正行动。它是核电厂在管理制度上贯彻纵深防御原则的体现。(1) 凡质量控制过程中或性能试验中发现的物项质量变得不可接受或不能确定称为不符合项，按不符合项控制过程予以处理和跟踪；(2) 凡通过各种经验反馈渠道发现的系统或设备的功能缺点、设计缺陷或原因不明的故障，将以设计变更申请、修改申请、工程服务申请等方式通过设计和技术管理制度予以处理和跟踪。(3) 管理缺陷一般通过质量保证监查、经验反馈、内部自我评估和同行评估等过程进行识别，由管理层确认并决定和落实相应的纠正行动。（撰写：钱锦辉 审订：蔡康元）

jiudi boli guhua

就地玻璃固化 in-situ glass solidification 又称现场玻璃固化。就地处理被放射性废物和（或）混合废物污染场地的一种热处理技术。高温作用将污染物与周围的土壤，包括地下设备（如槽罐、阀门、管道）一起熔融，形成整体结构的玻璃体，类似黑曜岩、火山岩类物质，绝大多数重金属元素和放射性核素被熔铸在玻璃体中。就地玻璃固化将电压加到石墨



就地玻璃固化原理图

电极上，产生 1600～2000℃高温，使土壤熔融成导电物质，熔融区向下和向周围发展。熔融速度取决于土壤类型、含水量、所含污染物、熔融过程产生的水蒸气和其他气体量等。熔融体冷却之后，形成物理和化学性质稳定、抗浸出的玻璃体。就地玻璃固化原理如图所示。

（撰写：罗上庚 审订：范显华）

jiudi celiang

就地测量 in-situ measurement 采用可携式 γ 谱仪对环境的土壤、道路中 γ 放射性核素的活度或活度浓度及 γ 放射性核素对测量点的空气吸收剂量率进行的测量。用于就地测量的 γ 谱仪通常为 HPGe γ 谱仪，其关键技术是要给出放射性核素比活度刻度因子和空气吸收剂量率刻度因子。目前解决γ谱仪探测器刻度技术的方法有：(1) 实验刻度方法；(2) 理论计算方法，最常用的方法为蒙特卡罗模拟理论计算；(3) 半经验方法。就地测量能够及时发现环境中放射性污染，也可为进一步的监测采样和实验室分析提供有益信息，该技术已广泛用于核设施环境监测和应急监测。

（撰写：董柳灿 黄治俭 审订：赵亚民）

jiudi zhucun

就地贮存 on site storage 又称现场贮存。将乏燃料或放射性废物贮存在其生产设施的场址范围内。例如，将乏燃料贮存在反应堆厂房的水池内或把装有乏燃料的贮存容器存放在核电厂的贮存场内；将高放玻璃固化体贮存在玻璃固化厂房的地下贮存设施中等。乏燃料和放射性废物就地贮存的数量和时间由审管部门规定。贮存期满后，应运出进行处理或整备，或按审管要求送往集中贮存库或处置场。

（撰写：孙东辉 审订：王显德）

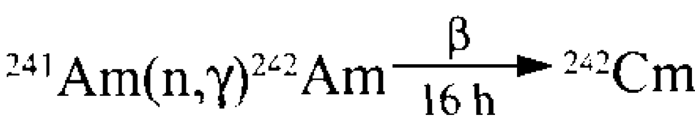
jushizhong de dong

居室中的氡 radon in the dwelling 指人类居室内的由^{226}Ra衰变产生的氡及其子体。居室内氡的来源途径有：房屋基础

土壤，建筑和装饰材料，自来水及天然气等。氡及其子体产生的剂量占人类所受天然辐射源照射剂量的主要部分，居室中氡的问题日益受到重视。国际放射防护委员会和国际原子能机构等国际性组织，推荐了氡持续性照射的行动水平为200～600 $Bq m^{-3}$(年平均浓度)。住宅中氡的行动水平是建立在自愿执行基础上的。为保护公众的健康，首先应制定有关氡的法规和标准，在此基础上制定整体计划，调查、测量和评价住宅中氡及其子体的水平，研究减低氡照射措施，并按计划有步骤地付诸实施。 （撰写：董柳灿 赵亚民 审订：潘自强）

ju

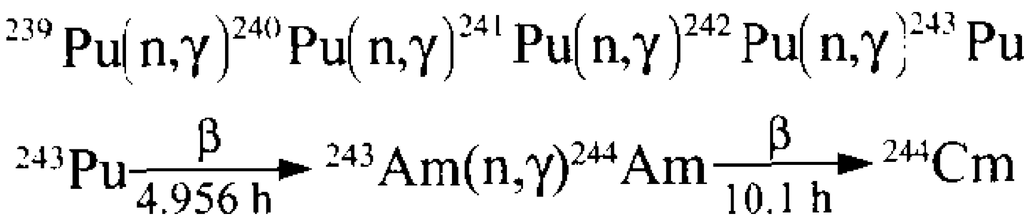
锔 curium 一种人工放射性元素，化学符号 Cm，原子序数 96，属锕系元素。半衰期最长的同位素是 ^{247}Cm (1.56×10^7 a)。因纪念著名科学家居里 (Curie) 夫妇而命名。1944 年 G.T.西博格 (Seaborg) 等用 32 MeV 的 α 粒子轰击 ^{239}Pu 时发现 ^{242}Cm，其核反应为 $^{239}Pu(\alpha, n)^{242}Cm$。锔原子的电子构型为 (Rn) $5f^7 6d^1 7s^2$，在溶液中有 +3 和 +4 两种氧化态。+3 氧化态稳定。可称量的 ^{242}Cm 是通过在反应堆中用中子辐照 ^{241}Am 而制得：



$$^{241}Am(n,\gamma)^{242}Am \xrightarrow[16\,h]{\beta} {}^{242}Cm$$

^{244}Cm 通常是在反应堆中用中子辐照 ^{239}Pu, ^{242}Pu 或 ^{243}Am，按下列核反应过程形成的：

$$^{239}Pu(n,\gamma)^{240}Pu(n,\gamma)^{241}Pu(n,\gamma)^{242}Pu(n,\gamma)^{243}Pu$$

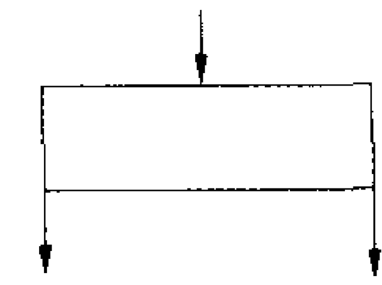


$$^{243}Pu \xrightarrow[4.956\,h]{\beta} {}^{243}Am(n,\gamma)^{244}Am \xrightarrow[10.1\,h]{\beta} {}^{244}Cm$$

最有用的锔同位素是 ^{242}Cm 和 ^{244}Cm，主要用作同位素能源。 （撰写：林漳基 修订：罗文宗 审订：崔安智）

juxing jilian

矩形级联 square cascade 各级流量相同的同位素分离级联。示意图中方框表示分离级联，其高度表示级的流量，方框宽度表示级的数目。由于各级流量相同，因而表示级联的方框成为矩形，矩形级联由此得名。级联示意图中有三股流，它们是流入级联的供料和流出级联的两股取料。矩形级联是最简单的级联。它可以作为实验测定参数用，例如将若干级组成矩形级联后经过取样可以测定浓缩系数。在分离稳定同位素时，为了使级联简单又有通用性，也有可能使用矩形级联。矩形级联的分离效率比较低，最高只有 81.45%。 （撰写：应纯同 审订：刘广钧）



矩形级联示意图

jugongzhen

巨共振 giant resonance 原子核中有相当可观的一部分核子参与整体运动所形成的一种高度集体性的振动型激发模式。这些激发模式普遍存在于原子核中，通过如 (p, p'),(e, e'),(p, n),(n, p)和重离子反应等激发。对于一定的原子核来说，巨共振都有各自确定的激发能量 E (约 10～30 MeV)、较宽的宽度 Γ (约 2～10 MeV)。按原子核集体模型观点，把原子核看成是由具有不同自旋取向的质子和中子所组成的液滴，可以根据液滴中各种不同成分的不同振动方式对巨共振的各种模式予以分类。在微观上，壳模型认为，在入射粒子作用下，原子核被激发出一些粒子—空穴对，巨共振是跨越一个或多个主壳层的多种单粒子激发的相干叠加，这种相干叠加可以用核多体理论（如随机位相近似 RPA 理论）来描述。巨共振具有总自旋 S、同位旋 T 及其第三分量 T_3，对于每种巨共振，其轨道角动量 L 可以为 0，1，2，3，…，分别称为单极、偶极、四极、八极巨共振……。例如，电的同位旋标量 ($S = 0$, $T = 0$, $T_3 = 0$)$E0$ 单极巨共振，代表原子核不改变形状地作整体压缩和扩张振动，称为“呼吸”模式，与原子核不可压缩系数 K 有关。四极巨共振是原子核的某一成分在长椭球和扁椭球之间的交替振动。

（撰写：申庆彪 审订：许谨诚）

jubian cailiao

聚变材料 fusion material 见热核材料。

jubian cailiao huaxue pinwei

聚变材料化学品位 chemical grade of fusion material 固体聚变材料样品中各有用成分的分子质量之和与样品总质量的百分比。 （撰写：郑绍唐 审订：俞大光）

jubian cailiao wuli pinwei

聚变材料物理品位 physical grade of fusion material 固体聚变材料样品中各有用成分的原子质量之和与样品总质量的百分比。由于有用成分的分子中包含无用的原子，因此聚变材料的物理品位低于化学品位。

（撰写：郑绍唐 审订：俞大光）

jubian dianhuo tiaojian

聚变点火条件 ignition condition for fusion 热核反应系统依赖自身热核反应释放的能量，能维持系统温度上升的条件。点火条件包括对温度和面密度的要求。对于不同的点火机制，点火条件不同。非平衡点火要求点火区域的热核反应能量能克服轫致辐射能耗和电子热传导能量损失。在氘氚原子比为 1 : 1、反应产物高能中子能量完全泄漏、α 粒子能量全部沉积的条件下，只考虑轫致辐射能耗得到的阈值温度约为 60 MK。平衡点火条件意味着系统热核释能能够克服边界处的热流损失。另一个点火条件是点火区的面密度必须大于一个由 α 粒子射程决定的临界值，否则 α 粒子泄漏严重，系统温度无法提高。对中心点火模型 $\rho R \geqslant 0.4\ g \cdot cm^{-2}$。平衡点火通常是热核燃料整体点火，该条件自然得到满足。

（撰写：李沄生 审订：常铁强）

jubiandui baoceng cailiao

聚变堆包层材料 blanket materials of fusion reactor 在聚变堆堆芯周围将聚变能转变成热能和生产氚的区域（称为包层）内所使用的材料。聚变堆包层材料包括氚增殖材料（参见锂陶瓷和产氚的液态金属）、倍增材料、冷却剂和结构材料。中子倍增材料通常是铍和铅。冷却剂有氦、水、液态金属。结构材料有奥氏体不锈钢、铁素体和马氏体不锈钢、钒合金以及碳化硅纤维增强复合材料。其中结构材料受强中子辐照、高热流量、机械与热应力、腐蚀等作用，要求辐照肿胀小、热导率高、感生放射性小、足够的强度、相容性好。奥氏体不锈钢的突出问题是辐照肿胀和与锂、Li–Pb 合金冷却剂的相容性。铁素体和马氏体钢的辐照肿胀率比奥氏体不锈钢小约一个量级。钒合金具有优良的高温力学性能、抗辐照肿胀和低感生放射性。近年来对 V–Cr–Ti 合金和 SiC 纤维增强复合材料的研究已取得显著进展。

（撰写：卢浩琳 审订：韩廷德）

jubiandui cailiao

聚变堆材料 fusion reactor material 用以构造聚变堆的材料。主要包括：(1) 结构材料，如奥氏体不锈钢、低活性铁素体钢、钒基合金和碳化硅—碳化硅复合材料等；(2) 面对等离子体材料，包括低原子序数和高原子序数材料，如石墨、碳—碳复合材料、铍、钼和钨等；(3) 包层材料，主要指氚增殖材料，包括固态增殖剂和液态增殖剂，固态有锂陶瓷、锂—钛陶瓷、锂锆陶瓷、锂—硅陶瓷、锂—铝陶瓷等；液态有金属锂、锂—铅合金、氟锂铍融盐和锂—锡合金等；(4) 绝缘材料，包括光纤、从远红外区到紫外区的窗口材料和其他绝缘材料；(5) 其他，如防氚渗透膜等。聚变堆材料处于高温、高压和高中子注量率等严酷环境。为了超越固体块材的性能极限，提出了创新概念，如无坚实第一壁、液态自由表面等。

（撰写：许增裕　审订：钱尚介）

jubiandui de baoceng he chuanxunhuan

聚变堆的包层和氚循环 blanket and tritium cycle in fusion reactor 包裹在堆芯等离子体外侧的包嵌层；在其中提取核聚变能量，进行核聚变燃料循环和生产所需产品，包括氚燃料的循环和补充。氚是放射性物质，半衰期为 12.3 a，因而系统必须达到核安全标准。一个百万千瓦级的氘氚聚变堆，首次投料需氚约 10 kg，正常运行时利用锂生产氚，其反应式为：${}^{6}Li+n\longrightarrow{}^{3}T+{}^{4}He+4.8\ MeV$。这个反应在包层中进行。包层中的工质同时也是冷却剂，被聚变能加热后在外回路热交换后送至核岛外利用。根据冷却剂与氚回收的工质形态不同，包层可分为高温气冷、液态金属冷却两大类。聚变堆高温热流也可用于需极高温度的化工流程，如：石油裂解等，派生出多种不同用途的堆型。

（撰写：钱尚介　审订：黄　林）

jubianduizhong de α lizi

聚变堆中的α粒子 α particle in fusion reactor 氘氚反应中产生的α粒子。它对聚变堆的运行极为重要，在氘氚自持燃烧下，几乎是等离子体的惟一加热源。α粒子完成加热而自身冷却后形成杂质——氦灰。聚变功率与工质离子密度的平方成正比，与工质离子温度间的关系很灵敏，而且偶然的起伏都可产生骤热或骤冷，导致过热或熄灭。α粒子不仅可对等离子体加热，还会引起不稳定性。高能离子可能激发起鱼骨模、Toroidicity-induced Eigen Alfven Mode 等不稳定性，某种环形本征α全域模的激发可能加快α粒子的损失。此外，燃烧水平的自动控制也是一个完全不同于裂变堆的新课题，从物理原理至工程实践都需要创新。就从α粒子角度，建造一个可自持燃烧的工程试验堆也是必不可少的步骤。

（撰写：钱尚介　审订：黄　林）

jubian fanying

聚变反应 fusion reaction 由轻原子核熔合成为较重原子核的核反应过程。一般说来，结合能较小的轻原子核的聚变反应可释放出大量能量。如氘和氚聚变反应产生中子和氦–4 并释放出 Q = 17.588 MeV 的能量。原子核聚变反应是聚变堆和氢弹的主要反应方式和能量的主要来源。轻核发生聚变反应需要能量来克服库仑势垒。当该能量来自高温状态下的热运动时，聚变反应又称为热核反应。如太阳和宇宙中恒星能长时间发光发热，其巨大的能量来源是氢、氦等的热核反应。

（撰写：张竞上　审订：许谨诚）

jubian huaxue

聚变化学 fusion chemistry 研究核聚变所采用的化学方法及实现核聚变所涉及的化学问题统称聚变化学。其主要内容有：测定有关核数据；研究聚变核燃料循环；探索聚变堆所用材料的性质；建立有关的分析方法；以及研究等离子体与物质的相互作用等。聚变化学是在热核反应研究中逐步形成并发展起来的放射化学与核化学的分支学科，是一门与新能源应用紧密联系的学科。聚变化学主要用于受控热核反应的研究。为建设聚变反应堆，需要掌握高能中子诱发各种材料核反应的截面数据。化学法可以测定核物理方法难以分辨的某些截面数据。聚变堆运行时，氘、氚、锂进行着增殖循环和等离子体循环（见图），因而需要研究锂化学、

聚变堆燃料循环示意图

氚化学、氚—锂体系化学、及氦—氚分离技术。聚变堆结构材料在高温等离子体作用下受到腐蚀，需要研究其相互作用的化学问题。受控热核反应正在向实用方向发展，它将不断提出需要化学方法解决的新课题。

（撰写：王方定　审订：郭景儒）

jubian liebian hunhedui

聚变—裂变混合堆 fusion–fission hybrid reactor 聚变堆包层中含有裂变材料，聚变与裂变共存于一起的反应堆，故名混合堆。混合堆的构想是将聚变反应富中子贫能量和裂变反应富能量贫中子的特点结合起来，互相补充。混合堆除发电功能外，还利用堆芯产生的聚变中子可以生产易裂变燃料，如产钚聚变堆、产铀聚变堆；可以嬗变处置长寿命放射性核废物，为聚变嬗变堆。混合堆研究始于20世纪60年代。80年代以来，由于核能发展的社会背景，对混合堆的研究主要局限在中国进行。由于混合堆可以降低对等离子体和结构材料的要求，以及实际应用的需求，到 90 年代末，国际上又对混合堆特别是聚变嬗变堆予以关注。

（撰写：黄锦华　审订：钱尚介）

jubian weili

聚变威力 fusion yield 核弹中由重氢（${}^{2}_{1}H$，氘）、超重氢（${}^{3}_{1}H$，氚）等轻原子核的热核聚变反应所产生的能量。在轻核聚变时两个较小的原子核结合而成较大的原子核，由于质量亏损将放出能量。聚变反应的生成物中，放射性核素比较少。而重核裂变产生的大量裂变产物中，有大量放射性核素，它们会造成严重的放射性沾染。要设计放射性沾染比较少的，

即所谓比较“干净”的氢弹，就要提高总威力（聚变威力与裂变威力之和）中聚变威力所占的份额。

（撰写：兰家亨 审订：郑绍唐）

juhewu guhua

聚合物固化 solidification with polymer 又称塑料固化。把放射性废物掺合在聚合物基料中形成固化体的一种技术。目前应用较多的是不饱和聚酯固化、环氧树脂固化和苯乙烯固化等。首先，将废物干燥脱水成固体颗粒或粉末，然后掺入聚合物基料中，加入引发剂和促进剂，搅拌均匀后让其聚合成为固化体。聚合物固化工艺简单，对脱水干燥后的废物最大包容量可达 60%～70%。与水泥固化相比，聚合物固化体有机械强度高、废物包容量大、放射性核素浸出率低等优点。聚合物固化特别适用于固化与其相容性好的废物，如废树脂等。聚合物固化成本较高，但如果综合考虑废物处理、包装、运输和处置费用，由于其包容量大，固化产物体积小，所以仍有竞争力。



聚合物固化废树脂冷台架试验装置

图出处：本图由中国原子能研究院提供。

（撰写：范显华 审订：孙明生）

juhewu jinzi shuini feiwuti

聚合物浸渍水泥废物体 polymer impregnated cement waste form 又称聚合物浸渍混凝土废物体(polymer impregnated concrete waste form)。为提高固化体的抗浸出性、机械强度等性能，用聚合物浸渍处理过的水泥（混凝土）废物体。其生产过程通常包括下列步骤：(1) 把放射性废物掺合到水泥或混凝土中，随后养护；(2) 通过加热和（或）抽真空使固化体脱水，获得高孔隙率的固化体；(3) 用催化的液态有机单体浸渍固化体，让单体渗透进固化体内相互交联的孔隙中；(4) 加热固化体，让单体在其所在的位置上聚合成坚固的网络以密封固化体的孔隙，制成坚硬的不透水的固化体。此技术是在 20 世纪 60 年代研制成功的聚合物浸渍混凝土（PIC）复合材料的基础上发展起来的。70 年代中，美国布鲁克海文国立实验室开发聚合物浸渍含氚混凝土（PITC）以固化高浓氚废液。固化体的抗压强度、耐久性和抗化学侵蚀性都有很大提高。德国、意大利、日本、中国先后都进行过相关研究。结果表明，聚合物浸渍水泥固化体能明显改进废物体的性能，特别是对于降低氚的释出作用，引起人们的重视。 （撰写：曾继述 审订：范显华）

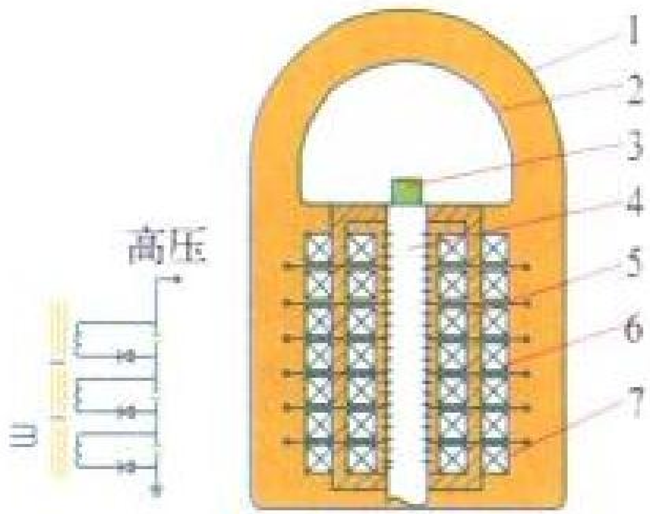
juedui celiangfa

绝对测量法 absolute measurement method 当未知量是通过对一个或数个基本量的直接测量或利用物理常数进行测量而确定时，这类测量方法称为绝对测量法。绝对测量法不依赖于其他样品或标准仪器的比较而直接得到测量结果。计量标准的建立往往以绝对测量法为基础。由于绝对测量法无须与标准样品和标准仪器作比较，这就需要对影响测量结果的许多因素进行修正，才能得出正确的量值，其中，许多修正还要通过实验或计算才能获得，使得测量手续变得很繁杂。只有需要直接而又独立确定的量才采取这类方法，如用小立体角法测定薄 α 源的活度，用 4πβ-γ 符合法测定具有 β-γ 衰变核素的活度等。绝对测量方法往往为标准放射源生产单位或计量技术部门所采用。

（撰写：丁声耀 审订：容超凡）

jueyuanxin bianyaqixing jiasuqi

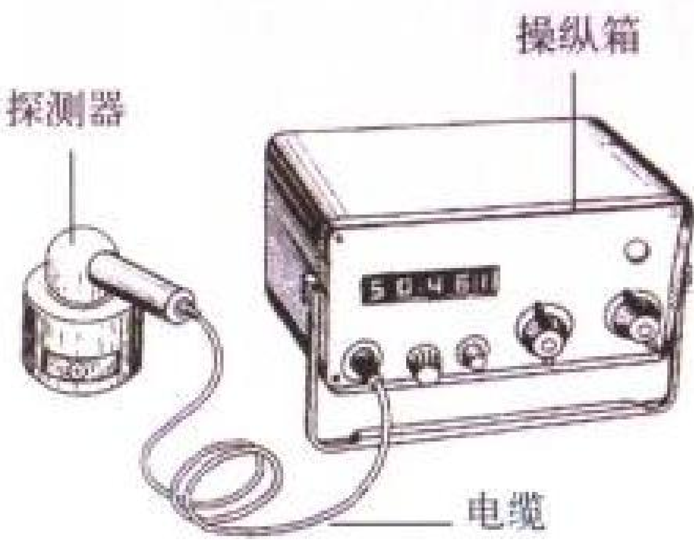
绝缘芯变压器型加速器 insulating core transformer accelerator 一种高压型加速器，它利用绝缘芯变压器的方法产生直流高压对带电粒子进行加速。绝缘芯变压器工作原理如图所示，其主磁铁芯分若干层，每两层间由聚合物薄膜绝缘。每层磁铁芯上绕有次级绕组。初级绕组的交流低电压，在每个次级绕组上感应出交流高电压。每个次级绕组上的交流电压，经整流后产生直流电压。将每层上的直流电压串联起来，就形成更高的直流高压。绝缘芯变压器可采取单相或三相方式工作。绝缘芯变压器型加速器由电子枪（或离子源），高压发生器，加速管，真空，控制等系统组成。其特点是输出功率大，最大平均输出功率可近兆瓦级。它已成为科研、工业和农业生产中的一种很好的辐照源。我国有多台此类加速器用于电缆辐照等方面。 （撰写：秦久昌 审订：关遐令）



绝缘芯变压器型加速器工作原理图
1—钢筒；2—高压电极；3—电子枪；4—加速管；5—磁芯；6—次级绕组；7—初级绕组

junyong fangshexing zhanran celiangyi

军用放射性沾染测量仪 military radioactive contamination meter 测定核辐射发射体的放射性活度的核辐射监测装备（见图）。仪器通常由探头（含屏蔽室）与主机组成，主要用于测量各种受染对象的样品，确定空气、土壤、水、粮秣、蔬菜等的放射性体积活度或质量活度。通过对受染样品发射的 α，β 粒子与 γ 光子计数，并与已知活度的 α，β，γ 放射性标准样品源在相同测量几何条件下的计数比较，即可确定样品的放射性沾染程度。该测量仪通常与空气、水、土壤、粮秣、蔬菜等的取样器配套装备在车载式与固定式放射性（核辐射）监测实验室中使用。 （撰写：黄启华 审订：毛用泽）



军用放射性沾染测量仪

junyong fusheyi

军用辐射仪 military radiac set 探测核辐射并具有识别射

线种类、测量和报警等功能的用于战场核爆与平时核事故条件下的环境 γ 辐射水平和环境介质放射性活度水平监测的核辐射监测装备。辐射仪通常由操纵箱、探头(棒)、耳机(或其他声响器)等组成。仪器能测量 γ 辐射周围吸收剂量(率)[$D^*(10)$、$\dot{D}^*(10)$] 和人体、武器、装备、水、食物等的 β, γ 表面放射性活度或体积(质量)放射性活度。可预先设置剂量(率)与表面活度的报警阈值，当超过阈值时，仪器发出声响(或光)信号报警。中国人民解放军装备的 FFS06 辐射仪(见图)已发展为小型化与多功能化装备。



FFS06 辐射仪

(撰写：张宏濂　审订：毛用泽)

junyong hefushe geren jiliangyi

军用核辐射［个人］剂量仪　military nuclear radiation dosimeter　用于核爆炸时测量人员所受早期核辐射和剩余核辐射个人吸收剂量 $D_p(10)$ 的核辐射监测装备。测量方式可分为直读式与非直读式。直读式剂量仪也称战术剂量仪，可由佩戴人员直接读数用于估计邻近范围内人员所受核辐射剂量，为统计部(分)队辐照史、判断部(分)队战斗力以及能否再次受照射与控制再照射剂量提供依据。装备的直读式剂量仪有电离室或真空室二次电子探测器与直接读数静电计相结合的笔型剂量计和充电器两部分组成个人剂量仪或半导体探测器的有源袖珍电子学个人剂量监测仪等。非直读式剂量仪，也称卫勤(医疗)剂量仪，通常由佩戴人员不能读数的个人剂量计和专用读数器两部分组成。根据个人剂量计在读数器上的累积剂量读数，判断个人的急性放射性损伤程度，适时对伤员进行分类并采取相应的医疗措施。常见的非直读式剂量仪有：荧光玻璃剂量仪、热释光剂量仪、辐射变色剂量仪、半导体剂量仪等。

(撰写：朱建寰　审订：毛用泽)

junyong hefushe tanceqi

军用核辐射探测器　military nuclear radiation detector　用于军用核辐射监测装备的对被测入射核辐射提供有关信息的元器件。常用的军用核辐射探测器有空气(或充高压气体)电离室、卤素盖革—弥勒计数管、闪烁探测器、半导体探测器、真空室二次电子探测器以及荧光玻璃、热释光和辐射变色探测器等。针对被监测核辐射的特点：用于早期核辐射的探测器，通常应分别具有 γ 辐射与中子的剂量测量能力和很宽的剂量测量范围，较好的能量响应与角响应，以及对极高的脉冲形剂量率有较好的剂量响应；用于剩余核辐射的探测器，通常应分别具有测量 γ 辐射剂量(率)和测量 β, α 表面放射性活度等能力，并应具有很宽的测量范围，较准确的能量响应与角响应，以及在 γ 与 β 混合辐射场中分辨测量 γ 辐射剂量(率)和 β 发射率(表面活度)的能力。军用核辐射探测器应能在严酷的环境(气候、机械、电磁等)条件下正常工作。

(撰写：张宏濂　审订：毛用泽)

J



kabang zhunze

卡棒准则 stuck rod criterion 为了确保反应堆能够实现安全停堆并且具有足够的停堆深度，在设计中必须遵循的一项基本安全准则。该准则规定，当所有控制元件按要求全部插入堆芯时，即使反应性当量最大的一根控制棒被卡在完全抽出的堆外位置，反应堆仍具有足够的停堆深度。

（撰写：奚树人 审订：单文志 许汉铭）

kai

锎 californium 一种人工放射性元素，化学符号Cf，原子序数98，属锕系元素。半衰期最长的同位素是^{251}Cf (898 a)。因纪念发现地加利福尼亚(California)大学和加利福尼亚州而命名。1950年S.G.汤普森(Thompson)用加速的α粒子轰击^{242}Cm时发现^{245}Cf，其核反应为^{242}Cm(α, n)^{245}Cf。锎原子的电子构型为(Rn)$5f^{10}6d^{0}7s^{2}$。在水溶液中有+2，+3和+4三种氧化态。锎(Ⅲ)很稳定，具有典型的三价锕系元素离子的性质。比较重要的锎同位素是^{249}Cf和^{252}Cf，它们可以在高通量反应堆中辐照^{244}Cm而获得。锎的最有用的同位素是^{252}Cf (2.64 a)，是一种很有价值的中子源。可用于中子活化分析(特别是在线中子活化分析)，就地生产短寿命同位素，可用于中子照相和治疗癌症等。^{249}Cf和^{251}Cf有较长的半衰期，适用于化学研究。它们的热中子裂变截面很大，临界质量很小(分别为32 g和10 g)，在核物理研究中受到重视。

（撰写：林漳基 修订：罗文宗 审订：崔安智）

kangpudun xiaoying

康普顿效应 Compton effect 见γ射线与物质的相互作用。

kangfushe dianzixue

抗辐射电子学 radiation-resistant electronics 也称辐射效应与加固技术或辐射加固电子学。是一门涉及核物理、固体物理、半导体物理和电子学的边缘科学。抗辐射电子学主要包括两方面内容：研究辐射环境对电子元器件和电子系统的影响，即研究辐射效应和辐射损伤机理；研究如何提高电子元器件和电子系统的抗辐射能力，即抗辐射加固。其特点是：综合性强，多门学科相互渗透；与国防建设密切相关；内容还在不断发展。抗辐射电子学在核物理实验、反应堆实验、核试验测试以及一切有强放射性环境中都要用到。（撰写：倪建平 审订：赖祖武 陈雨生）

kangfushe jiagu

抗辐射加固 radiation hardening 武器(含军用卫星等)及电子系统等对核爆炸环境和空间天然辐射环境所采取的加固防护措施。抗辐射加固的程序包括对可能遭遇的辐射环境估计；对系统中各个薄弱环节进行分析，了解其辐射效应；拟定各部件的加固指标；设计并实现均衡加固，保证整个系统在预定的辐射环境中正常工作。经过加固的器件及系统抗辐射能力能大幅度提高。抗辐射加固的研究对国民经济建设、国防建设有很重要的现实意义。电子学抗辐射加固目前主要包括：半导体分立器件的加固；单元电路加固；集成电路的加固；电子系统加固。

（撰写：倪建平 审订：赖祖武 陈雨生）

kanghe jiagu

抗核加固 nuclear hardening 为防御核武器系统和其他设施在核爆炸环境中的损伤而采取的防护加固措施。核爆炸会产生强大的冲击波、光(热)辐射、中子流、γ及X射线、电磁脉冲和放射性碎片及沾染，其破坏机制各不相同。在核战争中，武器装备和其他重要设施都必须有针对地进行防护。武器进攻中会遭遇到敌方的核拦截，也必须进行抗核加固。抗核加固的途径可分为三类：(1)削弱核爆炸毁伤因素的作用，有屏蔽、减震等措施；(2)增强自身的抗核能力；(3)采用回避技术，使易损的电路或子系统非必要时不加电工作。

（撰写：俞大光 审订：郑绍唐）

kechaixie shangxia guanzuo

可拆卸上下管座 dismountable upper and bottom nozzles 现代压水堆燃料组件的上下管座，以机械连接方式与导向管相连接，便于拆卸。如果组件中个别燃料棒破损，可将管座与导向管拆开，抽出破损燃料棒，插入新燃料棒，整个组件即可复用。与先前不可拆卸的管座相比，可拆卸管座维护方便，经济性好(参见高性能燃料组件)。

（撰写：张忠岳 审订：黄玉才）

kehuiquxing

可回取性 retrievability 将放射性废物或乏燃料从贮存设施中取出来的可能性。按放射性废物管理的要求，贮存设施的设计和运行管理必须保证贮存在其中的废物或乏燃料能完好地回取出来，以便进一步处理、整备或处置。为实现可回取性，要求废物或乏燃料的包装容器在贮存期内，在贮存条件(如温度、湿度、气氛、辐射等)下保持完好的包容性能。同时要求贮存设施提供可靠的防水、防火、保安、监视和回取所需的条件，防止来自外界的危害。

（撰写：孙东辉 审订：王显德）

kehuishou youziyuan

可回收铀资源 recoverable uranium resources 可采矿石中回收的铀的数量。与可采矿石中所含有的铀数量或是原地的铀数量不同，可回收铀资源在大多数情况下已扣除了预计的采矿损失量和矿石加工的损失量。原地铀资源是未考虑采矿和矿石加工损失的地下存在的铀资源。

（撰写：胡绍康 审订：赵凤民）

kehuohua shizongji

可活化示踪剂 activable tracer 采用核活化分析，可在很低浓度下对其进行测量的非放射性示踪剂。核活化分析包括：中子活化分析，带电粒子活化分析和γ光子活化分析。这

种示踪剂中的可活化元素经核反应活化而转变为放射性核素，然后进行定量分析，确定示踪剂的量。实际运用中，可活化示踪剂主要是指那些采用中子活化分析对其进行测量的示踪剂。常用的元素有铟、铕、镝、铱、锰、镧、金、钐等。与放射性示踪剂相比，可活化示踪剂的优点是，不会引起现场与环境的放射性污染，而且具有实际上无限的贮存期。典型的工业应用如：用金、铱的氰根络合物及铕、镝、铟的EDTA 络合物作为水的示踪剂开展水文研究和油田水驱示踪；用天然氯离子中的 ^{37}Cl 作为水的示踪剂，测定油藏含水饱和度并推算剩余油饱和度。由于可活化示踪剂的组成元素一般与被研究物质不同，故缺乏物理化学性质上的基本同一性，这一点逊于放射性示踪剂。

（撰写：张培信　审订：吕延晓）

kejieshou xianzhi

可接受限值　acceptable limits　可以被国家监督管理部门所接受的各种变量的限值。例如在发生核事故或潜在照射时，可被有关监管部门接受的，在考虑了事故和照射的发生概率后，对放射学后果预报的推理的限值。

（撰写：董柏年　审订：潘自强）

K

kekao youziyuan

可靠铀资源　reasonably assured resources of uranium　能用现行的开采和加工技术以给定的生产成本界限提取产于具有一定规模、品位和形态的已知矿床中的铀。吨数和品位的计算是以矿床的特定样品数据和测量数据以及对矿床特点的认识为基础。可靠铀资源具有很高的存在可信度，具备近期开采利用的条件。　（撰写：胡绍康　审订：赵凤民）

keliebian hesu

可裂变核素　fissionable nuclide　能进行裂变（无论何种过程引起）的核素。原则上说，质量数在 150 以上的核都可由高能粒子和高能光子引起裂变，都是可裂变核素。但是习惯上指铅、铋以上的重核，如 ^{232}Th，^{238}U，^{237}Np 和 ^{241}Am 等，它们可以由快中子引起裂变。例如 ^{238}U 不可能由慢中子引起裂变，但是，当中子能量高于阈能（1.4 MeV）后，它的裂变截面可大于 $5 \times 10^{-29} m^2$。因此，在核爆炸环境下，具有 ^{238}U 外壳的核装置威力会因快中子诱发 ^{238}U 裂变而加强。此外，^{238}U 有很大的热中子俘获截面（$2.720 \times 10^{-28} m^2$），可用于生产易裂变核素 ^{239}Pu。　（撰写：韩洪银　审订：张焕乔）

keran duwu

可燃毒物　burnable poison　有意放入反应堆堆芯的核毒物。可燃毒物是控制长期反应性变化的有效手段，其吸纳后备反应性的能力随本身的逐渐消耗而自动调整，以适应燃料因燃耗所引起的反应性减少。现代轻水堆常采用硼或钆等可燃毒物作为初始堆芯的附加控制手段。可燃毒物随时间的消耗，可以补偿由于燃料的燃耗和裂变产物积累所造成的反应性的减少。将可燃毒物进行合理布置，可使轴向和径向的功率分布更为均匀。以法国的经验为例，对于新的反应堆，在第一个周期，通常在燃料组件中装入由硼玻璃（Pyrex Glass，含 12.5% B_2O_3）制成的可燃毒物棒束，其中没有控制棒。因为在第一个周期，所有燃料完全都是新的，后备反应性比在其他周期中大。如果只用溶解硼作为控制手段，则慢化剂温度系数将是正的，这种情况对某些瞬态工况不安全。可燃毒物棒束可以保证温度系数在第一周期中始终保持负值。

（撰写：张忠岳　审订：黄玉才）

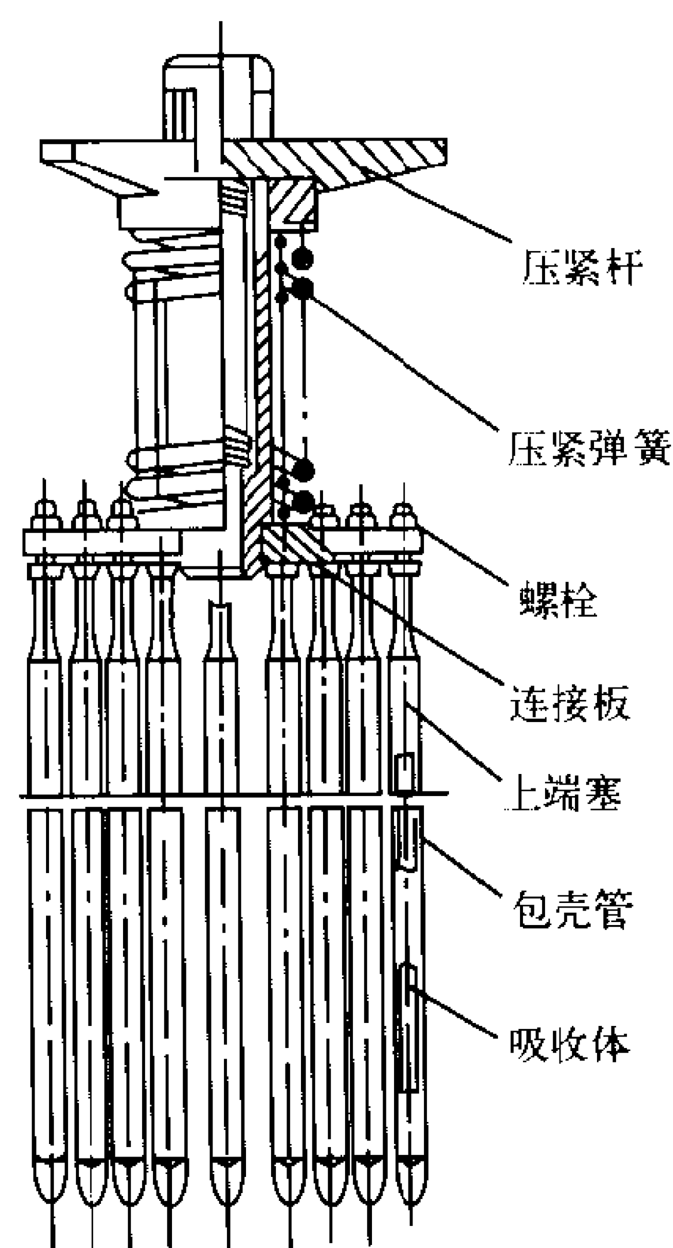
keran duwu kongzhi

可燃毒物控制　burnable poison control　将中子吸收体（毒物）放入反应堆堆芯，通过其逐渐燃耗而释放的反应性来补偿反应性长期缓慢变化的控制方法。这种可燃中子吸收体应具有较大的吸收截面，而吸收中子后形成的产物的吸收截面应尽可能小。目前作为可燃毒物的核素主要有硼、钆和铒等。它们既可以与燃料均匀混合在一起，也可以某种材料为基体，制成棒状、管状和板状，如硼玻璃管（$B_2O_3+SiO_2$），硼不锈钢管、板（硼＋不锈钢），碳化硼棒、管（$B_4C-Zr-4$，$B_4C-Al_2O_3$），载钆燃料棒（$Gd_2O_3-UO_2$），载铒燃料棒（$Er_2O_3-UZrH_x$）和涂硼（ZrB_2）燃料棒等。可燃毒物燃耗所释放的反应性应尽可能与燃料燃耗的反应性损失相匹配；在堆芯寿期末，毒物的残留量应尽可能少。可燃毒物与控制棒、化学补偿一起，形成对堆芯后备反应性的联合控制，可以减少新堆芯所需控制棒数量；通过可燃毒物棒（管）数量和浓度在堆芯的分区装载，还可以达到展平功率分布的目的。

（撰写：章宗耀　审订：卜永熙）

keran duwu zujian

可燃毒物组件　burnable poison assembly　通常采用吸收中子能力比较强、又能随着反应堆运行与核燃料一起烧掉的同位素（如硼、钆、铒及其化合物）作为中子吸收材料制成的组件，常用的可燃毒物有硼不锈钢、碳化硼、硼玻璃、硼化锆及 Gd_2O_3，ErO_3 等。将这些吸收体弥散在燃料芯块中或制成棒状或管状，然后外面加包壳。后者一般设置在燃料组件导向管中，每个燃料组件内插入可燃毒物棒的数目和布置形式，由反应堆设计和堆芯燃料管理来确定。随着反应堆运行核燃料燃耗的加深，可燃毒物也一起消耗，直至核电厂换料时将毒物组件卸出。利用可燃毒物的合理布置，可进一步改善反应堆堆芯功率分布以及加深核燃料的燃耗深度。可燃毒物组件由可燃毒物棒、连接板和弹簧压紧部件等组成（见图）。



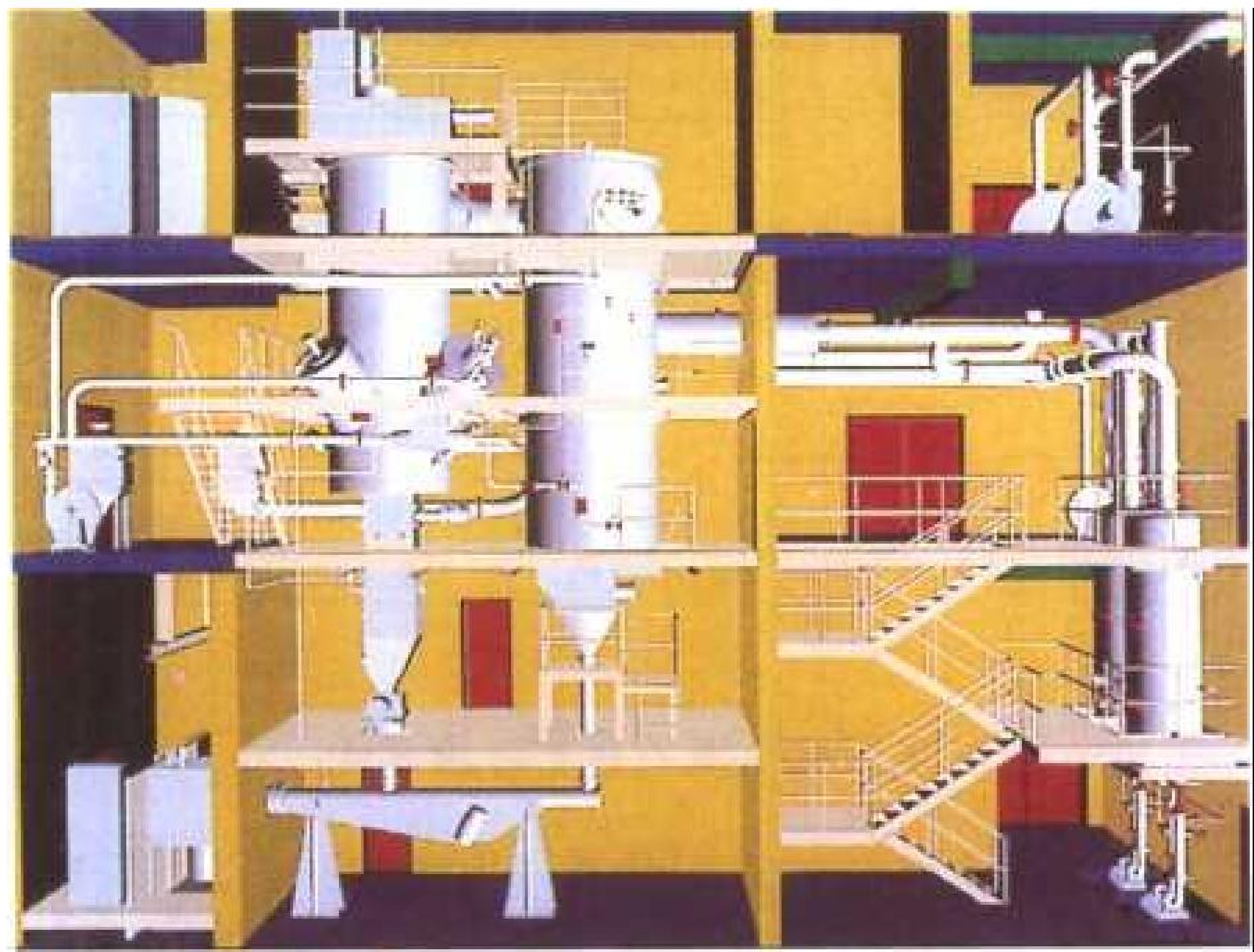
可燃毒物组件示意图

（撰写：杜圣华　审订：潘系人）

keran feiwu

可燃废物　combustible waste; burnable waste　可以燃烧的放射性废物。这种废物有布、纸、木材、塑料、橡胶制品，废树脂和有机溶剂等。可燃废物通过焚烧处理，可获得较大的减容，减容系数一般为 20～100，取决于不同材质。核设施产生的大部分可燃废物属低放废物，只有少量的中放废物或 α 废物。大部分可燃废物可以用过量空气焚烧炉进行焚烧处理，含塑料、橡胶多的废物通常需用热解焚烧炉进行焚烧处理。中放废物和 α 废物焚烧时，应考虑屏蔽、α 密封和临界

安全等特殊要求以及远距离操作的可能性。



焚烧装置示意图

图出处：NUKEM Nuclear Technology. NUKEM GmbH, 1997.5

（撰写：孙东辉　审订：王显德）

kexingxing yanjiu baogao

可行性研究报告　feasibility study report　根据可行性研究结果按照审管部门的规定和要求编制的书面文件。可行性研究是对某个项目在技术可行性、安全可靠性、环境相容性和经济合理性等方面所进行的全面、综合的调查研究和必要的试验论证工作。我国核电厂工程项目可行性研究分为初步可行性研究（简称“初可”）和可行性研究（简称“可研”）两个阶段。经审定的初可报告是编制可研报告书（相当于设计任务书）的依据。经审批部门批准的可研报告书是工程项目初步设计、项目投资和对外正式签约的依据。核电厂工程项目可研报告内容包括：项目概述（含项目概况、建设原则、可研范围及相关专项研究课题等），电力系统，厂址条件，工程项目设计方案（含工程项目总平面布置、设计方案、核安全保障措施、引进项目的合作方式和进口比例、退役设想等），核燃料供应和乏燃料及核废物贮运方案，环境影响评价，安全评价（含厂址安全分析报告、劳动安全卫生专篇等），核事故应急措施和应急设施方案，质量保证，工程建设方案，组织机构和人员编制，投资估算和经济分析，结论与建议，可研报告附件等。　（撰写：侯忠松　审订：刘国明）

keyashi feiwu

可压实废物　compactible waste　又称可压缩废物。经过加压可以减容的放射性固体废物。如防护衣具、拖布、擦纸、塑料制品、过滤芯、废树脂、玻璃制品、金属管道、电缆、小型风机和电机等。对可压实废物进行压实处理可获得一定程度的减容，一般减容系数为2～10，取决于不同材质。某些废物（如塑料、橡胶制品）压实后反弹量较大，应采取适当措施解决。压力为几百吨到上千吨超级压实机常用于压实桶装废物。废物压实过程中，要避免放射性气溶胶污染周围环境，应妥善收集和处理所产生的废液。

（撰写：孙东辉　审订：王显德）

keyidong hedongli zhuangzhi

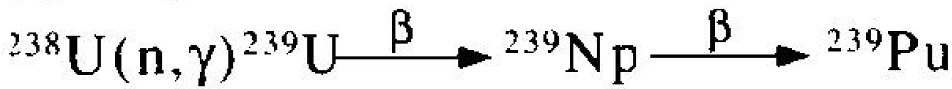
可移动核动力装置　movable nuclear power facility　可以船运或陆路运输的移动式小型核电厂。目前一般指可以沿江、湖、海岸移动的小型核电厂或核热电厂。由于需要整体移动或运行一段时间后移动，因此这类装置必须紧凑、重量轻、系统简单、固有安全性好，可以放在人口稠密或边远地区。目前国外设计方案多采用一体化全自然循环压水堆，也可以采用紧凑型压水堆。　（撰写：刘聚奎　审订：孙玉发）

keyongyuwuqi de cailiao

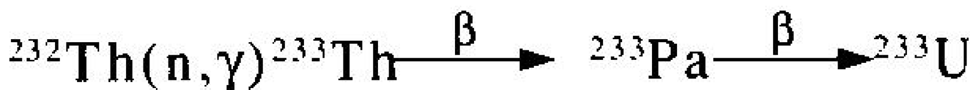
可用于武器的材料　weapon-usable material　通常是指分离的钚或高浓铀。由于在联合国安理会687号决议中用到了这一术语，IAEA行动组把“可用于武器的材料”定义为：^{233}U、^{235}U或兼含两者富集到20%或20%以上的铀；^{238}Pu含量小于80%的钚；呈金属、合金、化合物或浓缩物形态的上述各项材料，以及除辐照过的燃料以外的、含有上述一种或数种材料的任何其他物质。　（撰写：金惠民　审订：严叔衡）

kezhuanhuan cailiao

可转换材料　fertile material　含有可转换核素的材料。可转换核素是指俘获中子后能转变为易裂变核素的核素。可转换核素有两类：可转换成^{239}Pu的^{238}U和可转换成^{233}U的^{232}Th，其转换反应分别为



$$^{238}\mathrm{U}(n,\gamma)^{239}\mathrm{U}\xrightarrow{\beta}{}^{239}\mathrm{Np}\xrightarrow{\beta}{}^{239}\mathrm{Pu}$$



$$^{232}\mathrm{Th}(n,\gamma)^{233}\mathrm{Th}\xrightarrow{\beta}{}^{233}\mathrm{Pa}\xrightarrow{\beta}{}^{233}\mathrm{U}$$

^{238}U和^{232}Th的资源丰富，通过反应堆内的人工转换可获得大量的易裂变核素^{239}Pu和^{233}U。

（撰写：李文埮　审订：连培生　张忠岳）

kezhuanhuan hesu

可转换核素　fertile nuclides　见可转换材料。

kelusika shafulanuofu panju

克鲁斯卡—沙夫拉诺夫判据　Krusca–Shafralof criterion　见托卡马克等离子体的扭曲模不稳定。

keguan zhengju

客观证据　objective evidence　就核安全管理和质量保证领域而言，基于观察、测量或可试验的、可验证的、关于某物项或服务质量的定量或定性资料、记录或事实说明。

（撰写：董柏年　审订：张　健）

kongchang caikuangfa

空场采矿法　open stoping　回采时将矿块划分为矿房与矿柱，先采矿房，后采矿柱的铀矿开采方法。所形成的采空区，不进行充填或者整个采场采完之后进行事后一次性充填，采场依靠矿柱和围岩本身强度进行自然支撑，因此矿石和围岩稳固是使用本类方法的前提。空场采矿法的最大优点是生产能力大，工艺简单，便于机械化作业，劳动生产率高、采矿成本低。在铀矿开采中空场法使用较多，尤其对单个的零星的小矿体开采中常常采用空场法。此外，在矿体与围岩均很稳固、品位不高的情况下也常常采用空场法。根据几十年的生产实践，铀矿开采在空场法的基础上，又提出了适应铀矿床开采技术条件的无底柱留矿法等种种变形方案。

（撰写：王昌汉　审订：李开文）

kongjian dianhe xiaoying

空间电荷效应　space charge effect　束流在加速传输过程

中，粒子间的电磁力相互作用对束流性质所产生的各种影响。粒子间的电磁力相互作用，称为空间电荷相互作用。在强流加速器中，空间电荷作用与外场相比已达到不容忽视的程度。如引起横向聚焦的减弱，纵向稳定区的减小，横向归一化发射度的增大，束晕的产生等。由于空间电荷作用与粒子在空间的分布有关，而后者又是这种作用和外场作用的直接结果，它们均随束流的加速与传输过程千变万化。因此，空间电荷作用非常复杂，难以精确计算。

（撰写：欧阳华甫　审订：王传英）

kongjian dianhe zhonghe

空间电荷中和　space charge neutralization　束流粒子与束流在传输或加速过程中和传输系统中剩余气体发生碰撞时所电离出的极性相反的带电粒子间的中和。实际上，由于不存在绝对的真空，传输系统中会或多或少地残留一定量的气体。束流粒子在传输过程中，就会与这些剩余气体发生碰撞电离。电离所产生的极性与束流粒子相同的离子或电子因库仑排斥力而远离束流，最后损失在传输系统的管壁上。极性与束流粒子相反的离子或电子则留在束流内，结果是束流粒子产生的散焦电场被削弱。另一方面，与束流粒子的速度相比，电离所产生的离子或电子的速度非常小，束流产生的聚焦磁场几乎不受影响。因此，空间电荷中和效应可以减小空间电荷力的散焦作用，并有可能使之成为聚焦作用。合理利用空间电荷中和效应，可以有效地改善加速器在低能传输段的聚焦效果。但在高能同步加速器或储存环中，空间电荷中和效应能引起加速器工作点频率的偏移而导致束流的不稳定性，为此，必须保证传输系统的高真空度。近年来，利用空间电荷中和效应的等离子体聚焦研究也引起了人们极大的兴趣。

（撰写：欧阳华甫　审订：王传英）

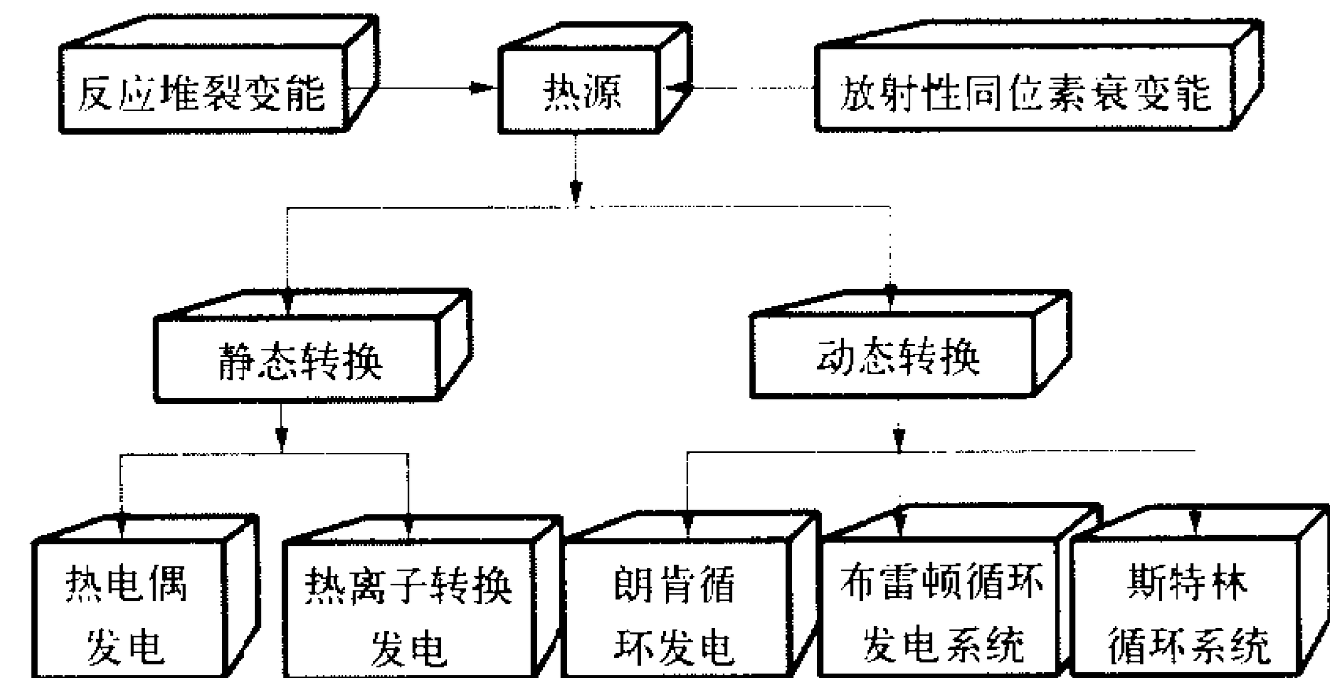
kongjian fushe sanreqi

空间辐射散热器　space heat radiator　将热电转换后的余热向空间辐射的部件，简称空间辐射器。空间核反应堆电源的热电转换效率不足10%（静态转换）或20%（动态转换），其余80%～90%的余热需要以热辐射的方式通过辐射器向太空排放。辐射器由冷却管或热管和散热翅组成。散热翅为铜质，表面有高黑度系数的涂层，与冷却管或热管钎焊。辐射器可制成圆筒形或平面矩形。冷却剂的热量通过冷却管或热管传给散热翅辐射到空间。带热管的辐射器的优点是安全性好，一根或几根损坏后辐射器仍能继续使用，并可以减轻辐射器的质量。

（撰写：杨继才　审订：苏著亭）

kongjian hedianyuan

空间核电源　space nuclear power　用核裂变能或核衰变能作热源，通过静态转换或动态转换，为空间飞行器提供电力的装置。用裂变能的就是以反应堆为热源，一般为大功率（从数百瓦到兆瓦级），用衰变能的就是由放射性同位素衰变提供热源，一般功率小（从数瓦到百瓦级）。热电转换方式分为静态转换和动态转换两类，正式应用的空间核电源都是静态转换（见图）。空间核电源的优点是：结构紧凑，体积小，质量比功率和体积比功率都比较高；与太阳光照无关；能抗电磁干扰和空间粒子辐照，很适合作深空探测、月球基地电源；功率范围变化大，反应堆电源可瞬时提升功率2～2.5倍，增加了空间飞行器的机动性和隐蔽性。



空间核电源的热电转换方式

（撰写：杨继才　审订：苏著亭）

kongjian hedianzhan

空间核电站　space nuclear power plant　运行于外层空间为空间飞行器、太空基地提供电力和向地面输送电力的核电站。为空间飞行器提供电力的核电站也称为空间核电源系统。为太空基地（如月球基地、火星基地等）提供电力的空间核电站，要求功率在兆瓦级以上，因此核电转换优先选用动态转换方式。这类核电站技术难度很大，目前尚处于概念设想阶段。

（撰写：杨启法　审订：苏著亭）

kongjian hetuijin dongli zhuangzhi

空间核推进动力装置　space nuclear propulsion unit　利用核能作为航天器推进初级能源的核动力装置。核能可以来自于同位素辐射衰变、核反应堆和核爆炸。它可以分为核热火箭发动机和核电火箭发动机两类。各类空间核推进动力装置的比冲和推力有一定范围。固体堆芯裂变反应堆型核热发动机现处于地面验证阶段，其他都尚处于理论探索阶段。

（撰写：杨启法　审订：苏著亭）

kongqi bishidongnenglü changshu

空气比释动能率常数　air kerma rate constant（Γ_δ）　发射光子的放射性核素的空气比释动能率常数Γ_δ是$l^2\dot{K}_\delta$除以A而得的商，即

$$\Gamma_\delta = l^2\dot{K}_\delta / A$$

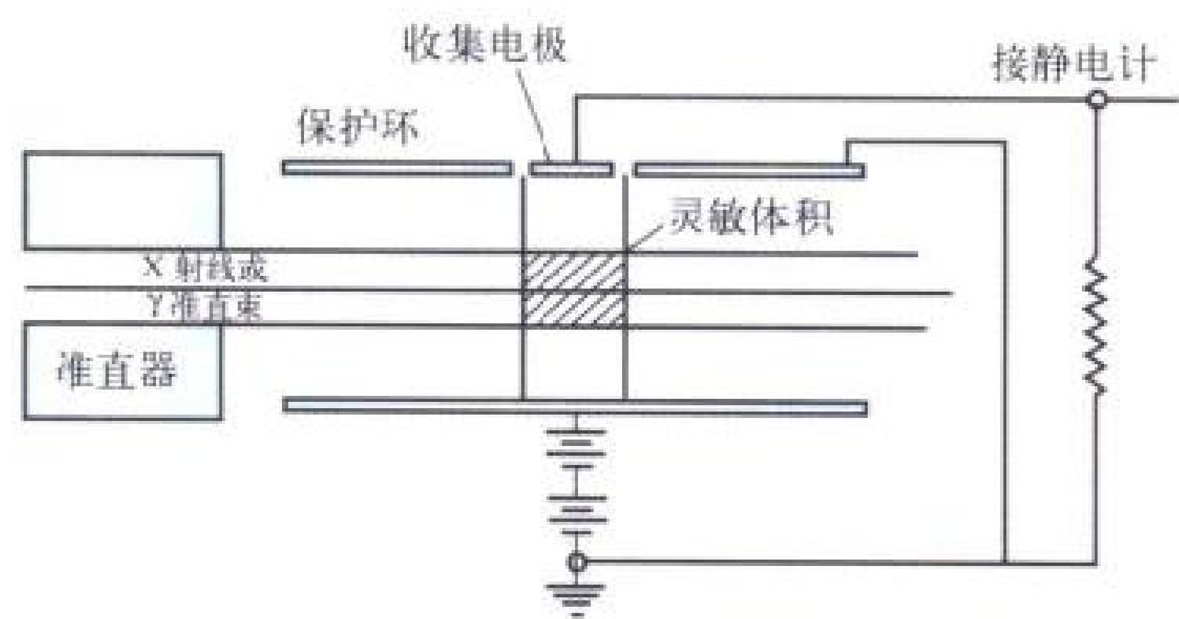
式中$\dot{K}_\delta$是在距离活度为A的该核素的点源l处由能量大于δ的光子所造成的空气比释动能率。空气比释动能率常数的单位为平方米焦耳每千克（$m^2 \cdot J \cdot kg^{-1}$）。如果使用专用名称戈瑞（Gy）和贝可勒尔（Bq），则空气比释动能率常数的单位为平方米戈瑞每贝可勒尔秒（$m^2 \cdot Gy \cdot Bq^{-1} \cdot s^{-1}$）。在上述定义中所指的光子包括γ射线、特征X射线和内韧致辐射。空气比释动能率常数作为放射性核素的一个特征，是针对理想的点源定义的。在有限大的源内，既有减弱，也有散射，而且湮没辐射和外部韧致辐射也可能产生。在某些情况下，要求对这些过程作重大修正。源和测量点之间的任何介质都将产生吸收和散射，对此需要加以修正。δ值的选择取决于应用情况。为了简化表示方法并保证统一性，建议用keV表示δ值。例如Γ_5理解为光子截止能量为5 keV的空气比释动能率常数。

（撰写：董柳灿　审订：陈竹舟）

kongqi dengxiao dianlishi

空气等效电离室　air-equivalent ionization chamber　以空气

等效材料为结构材料，内充空气的电离室（见图）。一般是由空气等效材料限定一空气腔，并作为极化电极，内有一中心极作为收集极，在两极间施以电压，要求在空气腔内形成足够电场，保证射线在空气中产生的电离全部或大部被收集，同时又不足以产生气体放大。测量电离室电流给出所要测量的辐射量的值。空气等效电离室主要用于测量与空气相关的辐射量，如照射量X和空气比释动能K_{air}。特别是照射量，不但要求照射介质为空气且周围介质也须是空气。对于空气比释动能尽管周围介质可以不是空气，但一般意义上，仍理解为空气中空气比释动能（K_{air} free–in–air）。这样K_{air}的测量，由于周围是空气介质构成均质电离室，其电离电流可直接与K_{air}相关联。因此，作为测量照射量和空气比释动能的电离室都



空气等效电离室示意图

是由空气等效材料制成。作为空气等效材料，主要要求空气等效性好即它对射线的吸收和散射与空气相同；作为电离室材料还要求它导电。这两个方面考虑，石墨是最好的空气等效材料，这也是所有标准电离室都是石墨电离室的缘故。但是作为结构材料，石墨易碎、易裂，加工性也差，所以现场工作剂量仪一般不用石墨而是用其他材料如塑料、胶木等原子序数与空气相当的材料制成，为保证其导电性，也可制成导电材料或喷涂石墨层。理想的空气等效电离室其照射量或空气比释动能响应随能量变化（一般称为能量响应）在不计室壁吸收情况下应是一水平直线。但是不可能有完全空气等效材料。所以要做必要的修正（如对空腔电离室）。对于次级标准或其他电离室，一般是规定一个能量响应变化范围。电离室是最简单、灵敏度高且耐用的射线探测器，空气等效电离室在辐射剂量测量中得到广泛应用，在建立标准、量值传递和工作场所辐射监测中发挥着巨大作用。

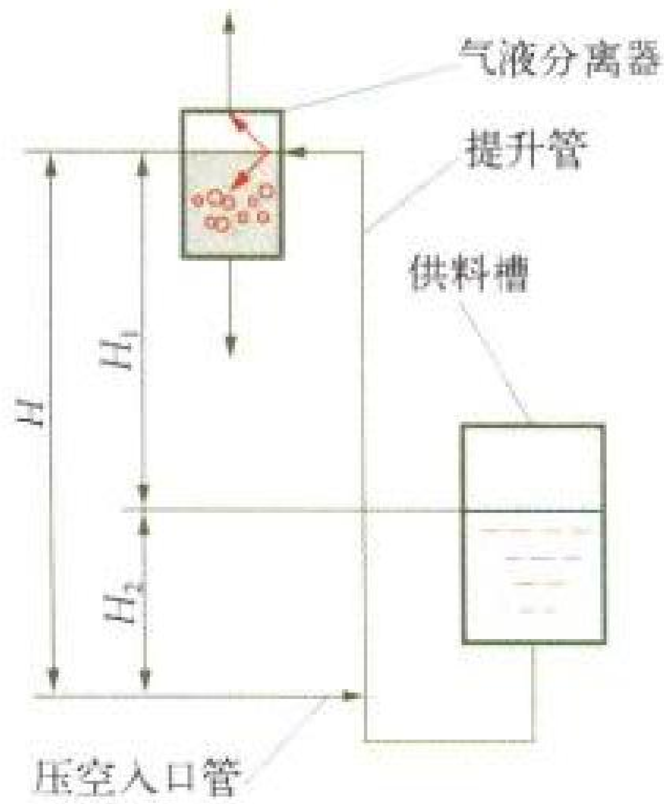
（撰写：李景云　审订：容超凡）

kongqi jiaobancao

空气搅拌槽　air-agitation tank　见巴秋克槽。

kongqi shengyeqi

空气升液器　air lift (pump)　利用压缩空气（或其他气体）升扬液体的一种装置。如图所示，它由供料槽、压空入口管、提升管、气液分离器等组成。其原理是压缩空气与被提升的液体形成了气液混合物，根据连通器原理，这种气液混合体由于密度的减小而被供料槽液体压上气液分离器，实现液体的升扬输送。由



空气升液器示意图

于空气升液器初始费用低，无运动部件、操作简单，基本不用维修，因此，在乏燃料后处理工厂中被广泛用于放射性溶液的输送与计量。　（撰写：杨祖辉　审订：郑华铃）

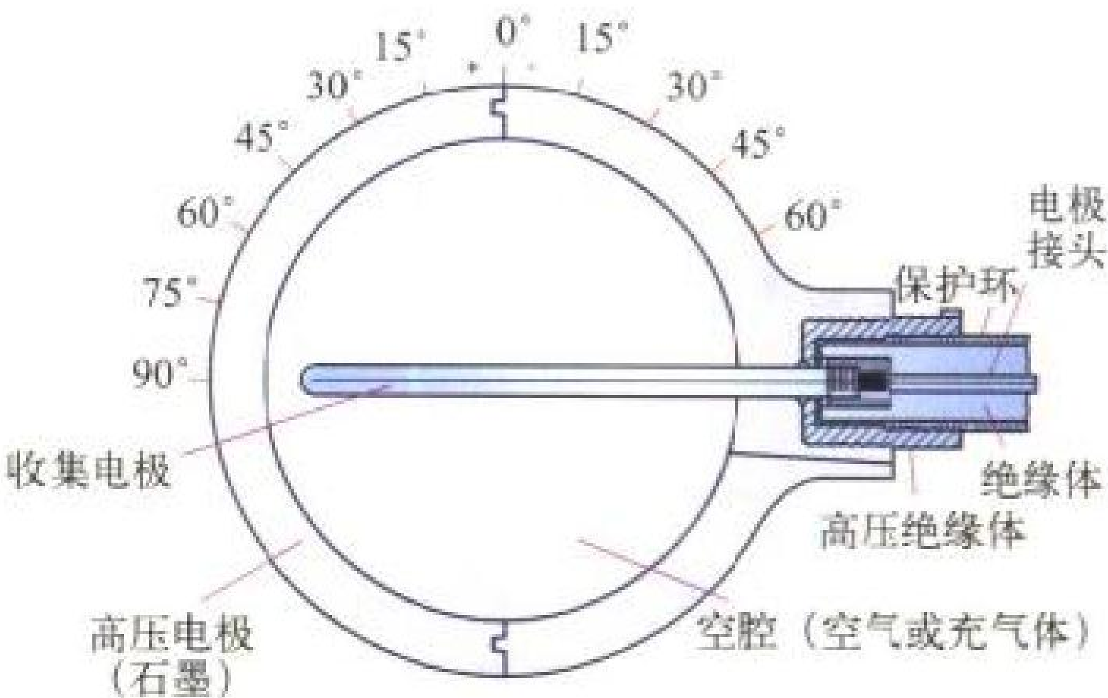
kongqi zhamen

空气闸门　airlock　核燃料循环设施内人或物从某一区域进到另一区域的过渡空间，也可称为气闸。空气闸门是一个过渡房间，有两个或多个门与相应区域相通，所有的门通常都处于自动关闭状态且互相联锁不能同时开门，当有人通过时，对其相邻两个区域起到空气隔离闸门作用，确保不同区域的负压梯度和气流组织的流向不受影响，从而保证不同区域的气溶胶剂量水平，不交叉污染。　（撰写：王世诚　审订：郑华铃）

kongqiang dianlishi

空腔电离室　cavity ionization chamber　基于 Bragg–Gray 理论建立的电离室，用于由电离室内气体（一般为空气）电离导出围绕空腔的电离室壁介质中吸收的辐射能，从而给出介质吸收剂量或在介质空气等效条件下给出照射量（见图）。按照 Bragg–Gray 理论，足够大的介质受光子均匀照射，如果在介质中有一小气体腔，则单位质量介质吸收的能量D_m与单位质量气体吸收的能量$J\cdot(\overline{W}/e)$之比，等同于介质的质量阻止本领$(S/\rho)_m$与气体质量阻止本领$(S/\rho)_g$之比，即

$$D_m=\frac{(S/\rho)_m}{(S/\rho)_g}J\frac{\overline{W}}{e}=(S/\rho)_{m,g}J\frac{\overline{W}}{e} \tag{1}$$



空腔电离室示意图

式中J为辐射在单位质量气体中产生的电荷；$\overline{W}$为在气体中产生一个离子对所需要的平均能量；e为基本电荷，即一个电子的电荷。但是，式(1)的成立是有条件的，最主要的一条是满足带电粒子平衡（CPE）或称次级电子平衡（SEE）。在此条件下不难导出照射量的表达式

$$X=J\,(S/\rho)_{g,m}(\mu_{en}/\rho)_{g,m} \tag{2}$$

式中$(\mu_{en}/\rho)_{g,m}$为气体中质量能量吸收系数$(\mu_{en}/\rho)_g$与室壁介质中质量能量吸收系数$(\mu_{en}/\rho)_m$之比。这就是用以建立光子能量 300 keV 以下的照射量标准的空腔电离室。球形空腔电离室的设计如图所示。也可以设计成圆柱形、平板形或指形。空腔内气体为空气，电离室材料用高纯石墨制成，这是由于石墨空气等效性能好。电离室的电离电流用高准确度的静电计测量，并用式(2)确定照射量。但是，由于室壁材料对光子的散射和吸收，完全满足带电粒子平衡是不可能的，因此，必须进行修正。外推电离室是测量β射线吸收剂量的空腔电离室，除此之外，尚有应用于不同目的的不同设计的空腔电离室。

（撰写：李景云　审订：容超凡）

kongzhibang daoxiangguan

控制棒导向管 guide tube for control rod 燃料组件骨架中供控制棒、可燃毒物棒、中子源棒或阻力塞棒插入，并对控制棒运动起导向作用、对快速落棒起水力缓冲作用的管状构件。导向管上端应保证吸收棒可以迅速下落，做到即使在燃料组件发生变形的情况下，也不致使落棒受阻。导向管下端内径缩小，使吸收棒与导向管之间的间隙减小，对落棒起缓冲作用，以防止落棒与导向管因高速撞击造成结构损伤，但同时必须保证落棒时间不致超过限值。控制棒导向管是燃料组件骨架的轴向承载构件，在整个工作过程中要避免因导向管挠曲而导致在需要紧急停堆时出现“卡棒”或“落棒时间超差”的问题（参见导向管弯曲）。

（撰写：张忠岳　审订：黄玉才）

kongzhibang ganshe xiaoying

控制棒干涉效应 control rod interference 反应堆内某一根控制棒的价值受到其他控制棒插入状态的影响。当一根控制棒插入堆内时，由于吸收中子降低了附近的中子注量率，但因总功率不变将使远处的中子注量率相对提高，此时第二根控制棒若插在近处，则其价值比单独插入时降低，称为出现了负的干涉效应。如果第二根控制棒插在远处，则其价值比单独插入时增高，称为出现了正的干涉效应。对于一组控制棒栅，它同时插入堆内的总价值不会等于每一根棒单独插入的价值之和，其干涉效应可能为正，也可能为负，取决于反应堆的物理特性。　（撰写：许汉铭　审订：陈叔平）

kongzhibang jiazhi

控制棒价值 control rod worth 在给定条件下，将一个完全提出的控制棒（组件）全部插入反应堆堆芯所引起的反应性变化。它是对控制棒补偿反应性效率的一种度量。控制棒价值可表示成：

$$\Delta\rho = \frac{1}{k_{eff,2}} - \frac{1}{k_{eff,1}}$$

式中 $k_{eff,1}$为该控制棒（组件）全部提出时堆芯的有效中子增殖因子；$k_{eff,2}$为控制棒（组件）全部插入时堆芯的有效中子增殖因子。一个控制棒（组件）的价值不仅取决于控制棒吸收体中子截面的大小和控制棒结构尺寸，还与反应堆的状态，如反应堆功率、冷却剂温度、堆芯硼浓度和堆芯功率分布有关。

（撰写：章宗耀　审订：卜永熙）

kongzhibang kedu

控制棒刻度 control rod calibration 在反应堆特定条件下对控制棒价值的测定。它可分为微分刻度和积分刻度两种。前者是通过逐段测定得出控制棒各段长度的反应性价值；后者指控制棒全长的总价值的测定。控制棒刻度的方法有：周期法、落棒法、振荡法、脉冲中子源法、噪声分析法和反应性仪法等。可按实际情况选用不同的方法。此外，也可利用已经刻度过的控制棒，通过比较，来刻度其他的控制棒。控制棒刻度是反应堆物理实验的主要内容之一。

（撰写：何可学　审订：许谨诚）

kongzhibang luobang shijian

控制棒落棒时间 control rod drop time 控制棒从其最高位置下落到控制棒导向管缓冲口所需的时间。通常，压水堆控制棒从上往下插入堆芯，以控制堆芯的反应性。当发生假想事故需要反应堆紧急停堆时，控制棒应快速插入堆芯，以保证反应堆安全停堆。因此，控制棒落棒时间是与核安全有关的重要参数。在反应堆首次装料和每次换料后，应对每一根控制棒进行定期落棒试验，以验证其快速落棒时间是否满足安全准则的要求。对新设计的控制棒驱动线，应试验验证冷、热态工况下和地震情况下控制棒落棒时间是否满足要求。

（撰写：赵晓刚　审订：孙荣绵）

kongzhibang pingbi xiaoying

控制棒屏蔽效应 control rod shielding effect 控制棒内某点吸收体核素的中子吸收率因被该点以外的吸收体核素或其他控制棒吸收体所屏蔽而减小的效应。前者称为自屏效应，后者称为控制棒之间的干涉效应。控制棒吸收体核素有很大的中子吸收截面，能将入射到控制棒表面的中子全部吸收，使控制棒内的中子注量率急剧下降（图 1 曲线 2）。因此控制棒吸收体内层的中子吸收率由于外层的屏蔽而减小，这种自屏效应使控制棒价值主要取决于吸收体的表面积大小。一般

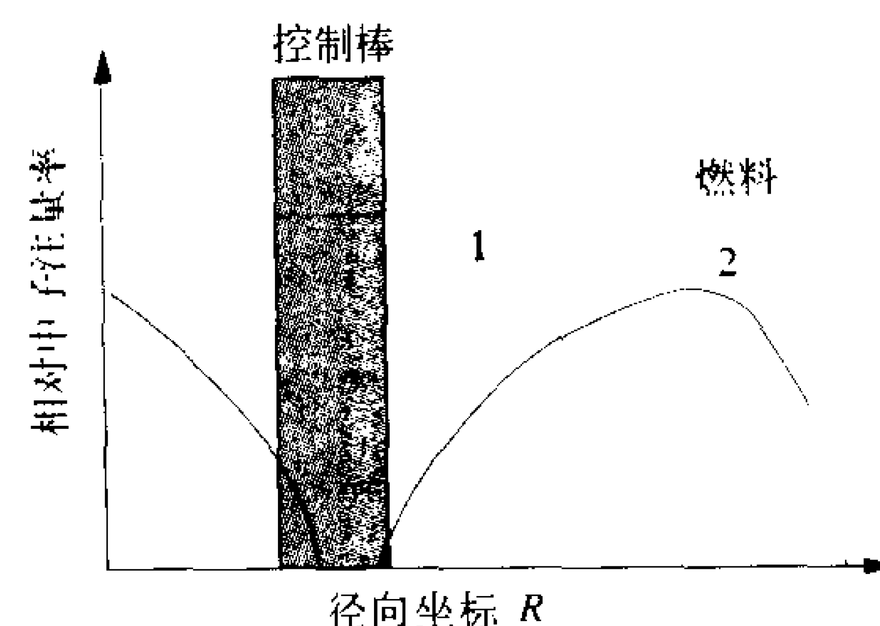


图 1 控制棒内的中子注量率分布示意图

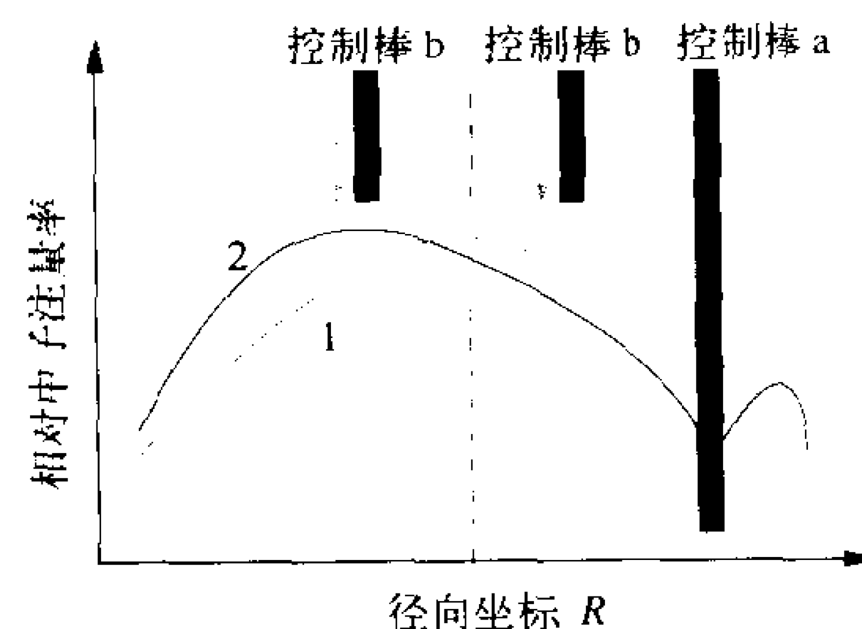


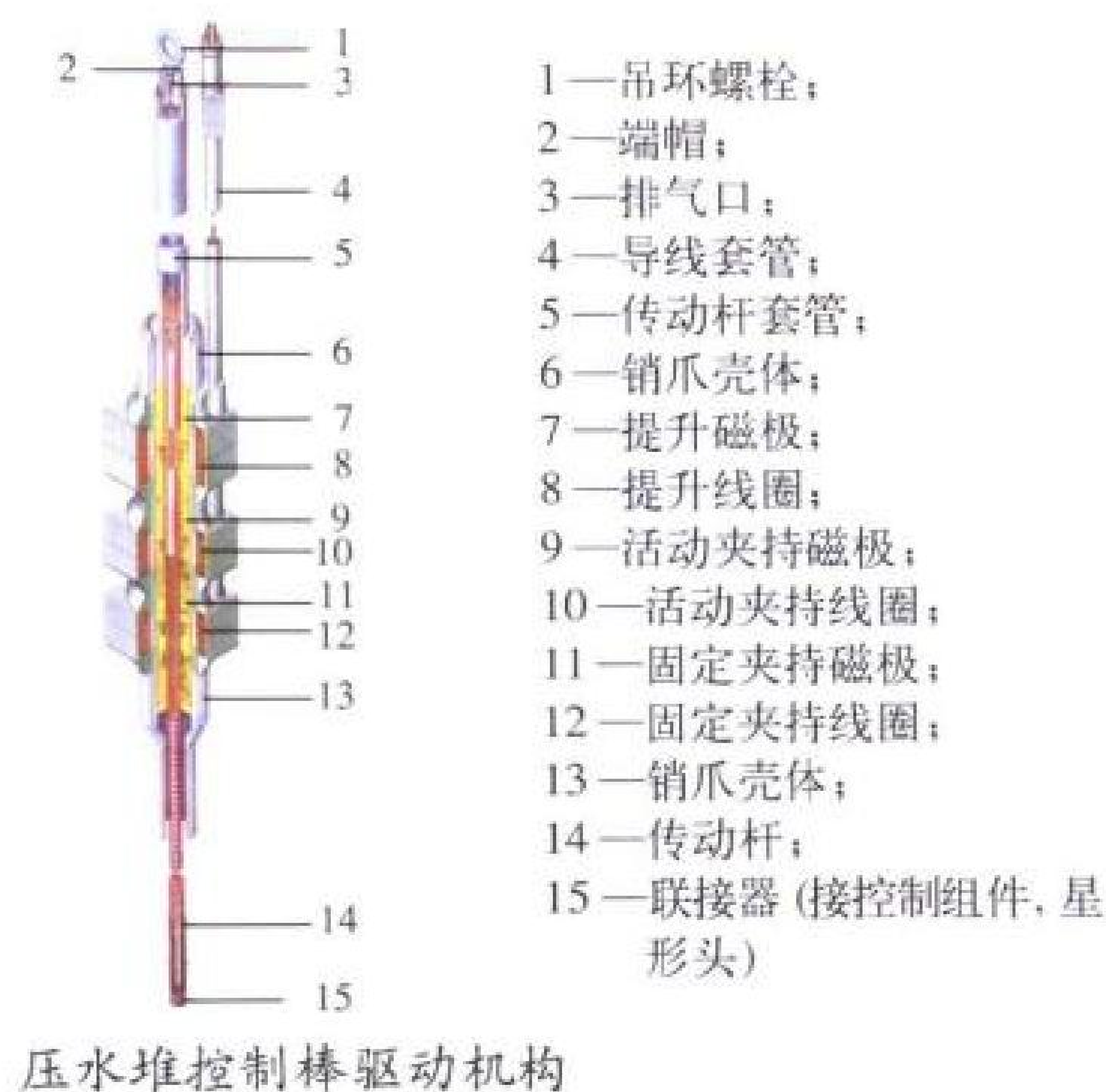
图 2 控制棒插入对堆芯中子注量率分布的影响示意图

反应堆设置较多的控制棒，一根控制棒的吸收率（价值）还受到堆芯内其他控制棒的影响。以两根控制棒为例来说明控制棒之间的干涉效应，如图 2 所示，当控制棒 a 插入堆芯时，该棒附近的中子注量率下降（图 2 曲线 2）。如果控制棒 b 在其附近插入，则控制棒 b 的价值将要减小；若控制棒 b 在远离控制棒 a 处插入，则其价值要增加。这是因为控制棒的价值大致与插棒前该处的中子注量率的平方成正比。

（撰写：章宗耀　审订：卜永熙）

kongzhibang qudong jigou

控制棒驱动机构 control rod drive mechanism (CRDM) 带动控制棒组件在堆芯内上下移动的部件。有磁阻电机驱动机构、磁力提升驱动机构和水力传动机构等几种形式。核电厂压水堆的控制棒驱动机构普遍采用磁力提升式驱动机构，它具有结构简单、提升能力大、使用寿命长、制造方便和安全可靠等优点。磁力提升式驱动机构由磁轭线圈、耐压壳、钩爪部件、驱动轴及位置指示器等五个部件组成（见图）。驱动机构安装在压力容器顶盖上，密封壳与管座用螺纹连接，并用“Ω”环密封焊接。



压水堆控制棒驱动机构

（撰写：杜圣华　审订：潘系人）

kongzhibang qudong jigou shiyan

控制棒驱动机构试验　test of control rod drive mechanism　对控制棒驱动机构（CRDM）进行的功能试验和质量鉴定试验。核安全法规和导则要求必须做此试验，以保证在发生预期运行事件时或在受到假想事故和自然力（如地震）的影响时，CRDM 仍能完成其安全功能。CRDM 试验有：（1）对新设计或新型的CRDM应进行热态寿命试验，以验证在模拟反应堆正常运行工况下全寿期执行其功能的能力。试验时，控制棒总行程和总落棒次数应是 CRDM 运行寿期内所预期量的二倍；(2) 对新设计或新型的CRDM应进行抗地震鉴定试验，以验证在地震载荷作用下仍能保持完整、可运行、并执行其安全功能；(3) 产品出厂试验，每台 CRDM 在出厂时都应进行，以验证其制造和组装质量符合技术条件的要求；(4) 定期落棒试验，在反应堆首次装料后和每次换料后，每个控制棒组件都要进行落棒试验，以验证其快速落棒时间是否满足安全准则的要求，保证反应堆能紧急停堆。

（撰写：赵晓刚　审订：孙荣绵）

kongzhibang tanchu shigu

控制棒弹出事故　rod ejection accident　压水堆核电厂中由于控制棒弹出堆芯使反应性迅速增加的事故，简称弹棒事故。它是设计基准反应性事故中最严重的一种，属 IV 类工况（极限事故）。当控制棒驱动机构密封壳破裂时，反应堆压力容器内、外的巨大压差将控制棒迅速弹出堆芯，快速引入一个正反应性。核功率剧增的同时也使堆芯功率分布更加不均匀，而出现一个很高的局部功率峰。在事故开始后的极短时间内，功率剧增产生的大部分热量贮存在 UO_2 燃料芯体内部，使燃料芯体温度升高甚至熔化，并释放出裂变气体，在燃料内部形成高压，而可能使燃料元件瞬时破裂。在元件破裂后，燃料芯体碎粒把热量迅速传给冷却剂，使部分冷却剂中能量积聚过量，热能转变为机械能，形成很强的冲击波，可能损坏堆芯和一回路。热量传递至元件包壳，会造成部分包壳表面发生偏离泡核沸腾，并继而使包壳达到脆性温度，影响堆芯的完整性。冷却剂系统内压力和温度上升，形成一回路的压力高峰，可能危及压力边界的完整性。为防止弹棒事故及缓解其后果，应保证控制棒驱动机构密封壳设计合理及加工可靠，在核设计上，要求控制棒在堆内合理布置，改善堆芯功率分布，减小单组控制棒的插入深度。（撰写：俞尔俊　审订：陈叔平）

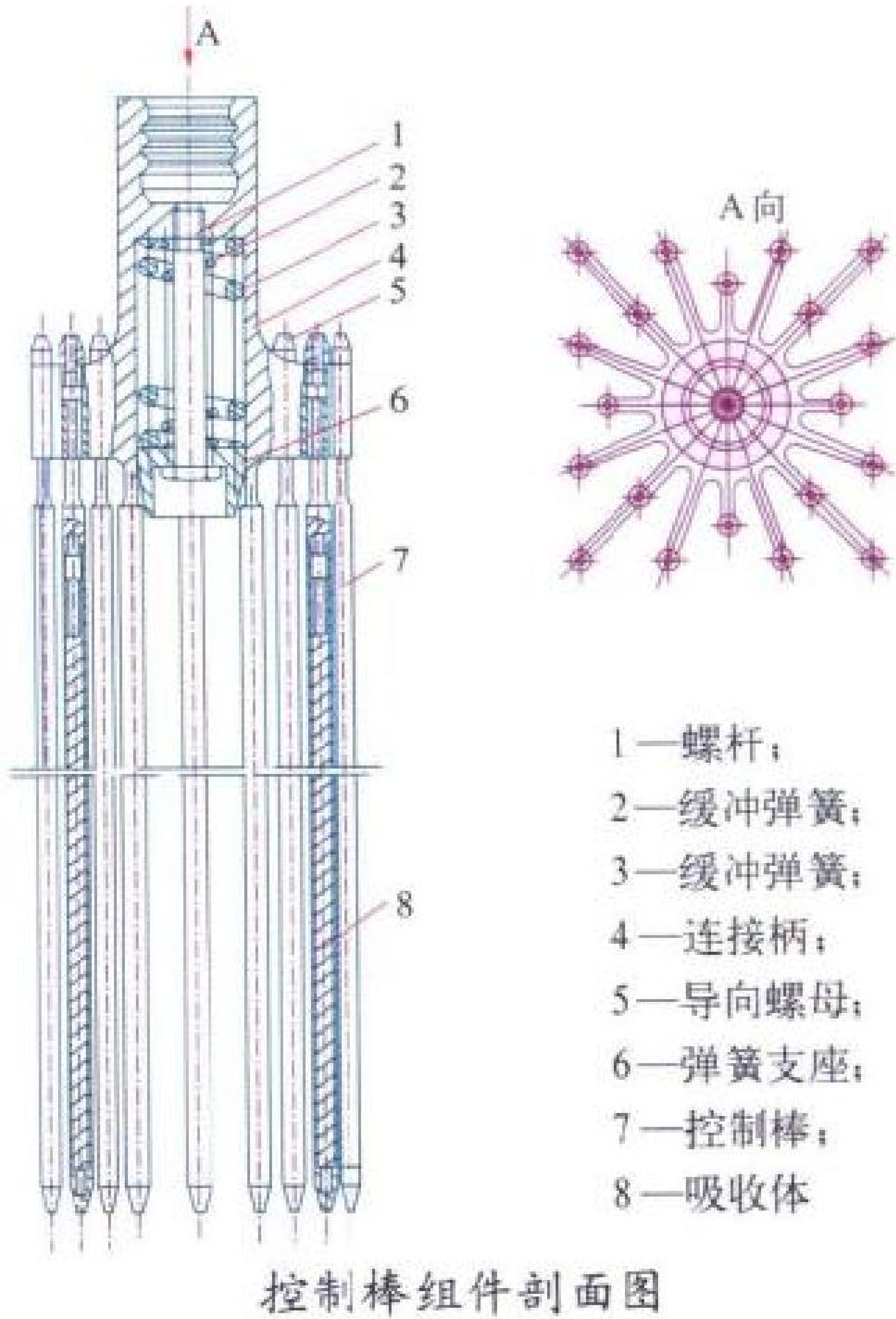
kongzhibang weizhi celiang

控制棒位置测量　control rod position measurement　对控制棒在堆芯中的实际位置的测量。本测量系统由棒位探测器、探测器供电、测量数据处理系统和棒位显示器等组成。对于压水堆核电厂，一般在控制棒驱动机构顶部耐压套管上安装棒位探测器组件，该组件由一个初级线圈和若干个次级线圈叠装组成，并按规定接线引出。初级线圈供以恒定电流，次级线圈感应输出反映控制棒位置的测量信号（格兰码信号），经电子线路处理后输出给显示器显示。对于常温常压的试验堆，其控制棒位置测量可直接利用棒的移动距离来转换并显示。

（撰写：赵善德　审订：孙玉发）

kongzhibang zujian

控制棒组件　control rod assembly　用来控制反应堆的核裂变反应速率，以实施启堆、停堆和调整反应堆功率的部件。在事故工况下依靠它快速下插使反应堆在极短时间内紧急停堆。压水堆核电厂普遍采用棒束型控制组件（见图）：即用银—铟—镉（80% Ag–15% In–5% Cd）合金制成细棒状的控制



控制棒组件剖面图

棒吸收体，外包不锈钢，插在燃料组件的导向管内。由 16～24 根控制棒，依靠径向星形肋片的连接柄连成一个控制棒组件，由控制棒驱动机构传动。根据压水堆运行要求，将堆内控制棒组件分为调节组件、停堆组件和短棒组件（或灰棒组件）三种。调节组件主要用来抵消部分后备反应性，补偿运行时各种因素引起的反应性波动。停堆组件主要用于在发生紧急事故工况时迅速停堆。短棒组件主要用来抑制反应堆可能出现的氙振荡现象。（撰写：杜圣华　审订：潘系人）

kongzhi guolü

控制过滤　controlled filtration　又称检查过滤。从浓密机溢流或过滤机滤液中再一次分离出微细固体颗粒的分离过程。铀矿浸出矿浆，经浓密机系统或过滤机固液分离后得到的溢流或滤液中的固体含量一般都大于 150×10^{-6}，不能直接用于铀清液吸附或清液萃取，而必须除去细小固体颗粒，以获得固体含量小于 50×10^{-6} 的清液。控制过滤常用的设备有板框压滤机、管式过滤器、澄清器等。有时还应用硅藻土等助滤剂，改变滤饼的结构和性质，以得到含固量更低

(小于5 × 10^{-6}) 的清液。在铀水冶厂的清液离子交换和清液萃取提铀工序之前，广泛利用控制过滤制备清液。

(撰写：关自斌　审订：王志章)

kongzhi kongqi fenshao

控制空气焚烧　controlled-air incineration　先在不足氧(低于理论量) 和不太高温度下进行燃烧，生成热解和半氧化产物，然后将这些产物在温度很高、空气过量的条件下很快完全燃烧的一种焚烧处理方式。控制空气焚烧克服了过量空气焚烧的燃烧不完全，焦油、烟炱含量高的缺点。控制空气焚烧的燃烧过程分为两个阶段，这两个阶段有分开在两个炉子中进行的，也有由合在一个炉子中的两个部分完成的。控制空气焚烧炉的结构比较复杂，但它可焚烧含有较多塑料和橡胶制品的废物。　(撰写：罗上庚　审订：范显华)

kongzhiqu

控制区　controlled area　在辐射工作场所中划分的并要求或可能要求采取专门防护手段或安全措施的任何区域。划分控制区的目的是便于：(1) 在正常工作条件下控制正常照射和(或) 防止放射性污染扩散；(2) 预防潜在照射和(或) 限制其影响程度。确定控制区的边界时，应考虑预计的正常照射水平、潜在照射的可能性和大小，以及所需要的防护手段与安全措施的性质和范围。对于范围比较大的控制区，如果其中的照射或污染水平的局部变化较大，需要实施不同的专门防护手段或安全措施，则可根据需要再划分出不同的子区，以方便管理。应采用实体边界划定控制区，在其出入口处设立醒目的标志，并给出相应的辐射水平和污染水平的指示。按需要在入口处提供防护衣具、监测设备和个人衣物贮存柜；按需要在出口处提供皮肤和工作服污染监测仪、携出物品的污染监测设备、人体去污设施及被污染衣具的贮存桶。

(撰写：吴德强　审订：华　旦)

kucun hewuqi kekaoxing

库存核武器可靠性　reliability of stockpile nuclear weapon　进入国家核武库(即已部署或进入国库处于贮存状态) 的核武器在经过一段时间后保持其设计所要求的战术技术性能的能力。核武器使用的材料种类繁多，性质特殊，在经过较长时间(如数年) 的贮存后各零部件将发生老化，如易裂变材料钚会出现表面腐蚀；聚变材料氚会因衰变而减少，同时其衰变产物将改变聚变材料的组成；炸药会变质，使性能不稳定；各种材料都会发生蠕变等。这些变化都会或多或少影响核武器的战术技术性能，特别是可靠性和安全性。据美国报道，美国库存核武器中有三分之一存在问题，而其中四分之三的问题是通过核试验发现的。为了在禁核试条件下保证核武器的可靠性、安全性，1995 年开始美国正在实施一项称为“库存核武器技术维护与管理计划”的耗资巨大的发展计划。

(撰写：郑绍唐　审订：刘恭梁)

kulun shilei

库仑势垒　Coulomb barrier　带正电的粒子在原子核边缘区域所感受的势能，它具有极大值。这个势能的极大值是由长程库仑排斥与短程核吸引力的综合效应产生的。粒子与原子核的距离越小，库仑排斥力越大。同时入射粒子和靶核之间还存在短程核吸引力，当入射粒子进入靶核的核吸引力范围时，库仑排斥力逐渐被短程核吸引力所抵消，其合成势升到一个最大值后迅速下降。带正电的入射粒子只有具有足够的能量，并能克服库仑势垒时，才能与靶核发生核反应。

(撰写：申庆彪　审订：许谨诚)

kuake

夸克　quark　与轻子处于同一层次的一种基本粒子，是构成强子的基本组分。至今仍未在试验中观察到自由夸克，这通常用夸克禁闭来解释。夸克的自旋为1/2，带分数电荷和重子数。目前已发现的 6 种(味) 夸克，它们的基本性质如表所示。

夸克的种类及其性质

味	u	d	c	s	t	b
质量/MeV	1.5～5	3～9	1.1～1.4	60～170	约 170	4.1～4.4
电　荷	+2/3	−1/3	+2/3	−1/3	+2/3	−1/3
重子数	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3
自旋	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2
同位旋	+1/2	−1/2	0	0	0	0
奇异数	0	0	0	−1	0	0
粲　数	0	0	−1	0	0	0

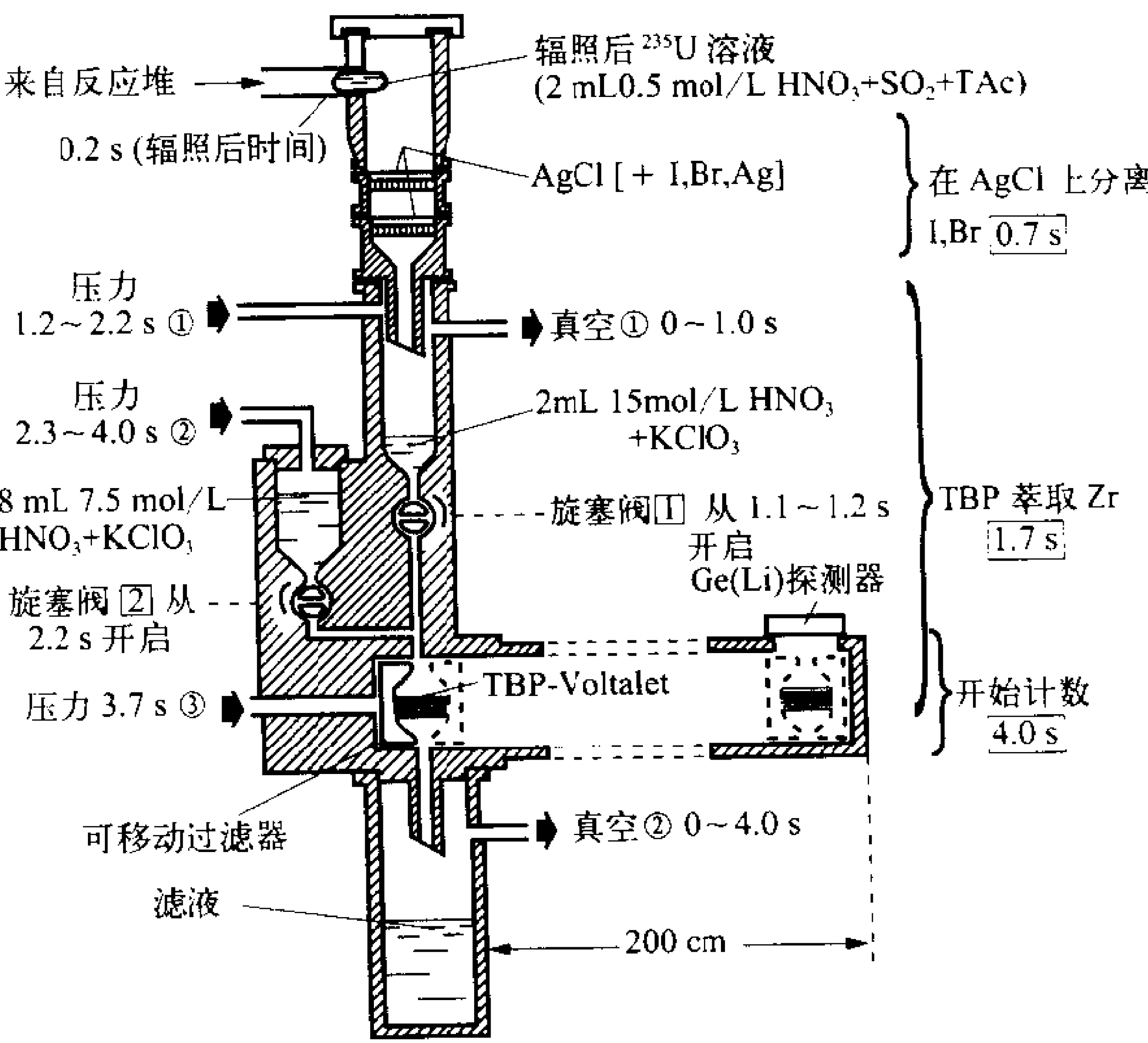
(撰写：班　勇　审订：叶沿林)

kuaidianhuo

快点火　fast ignition　惯性约束聚变中将压缩和点火分开进行，并由高强度外源快速点火(如超强激光) 的过程。聚变靶丸先以通常的驱动方式进行预压缩，达到所需要的高密度，但不要求，而且要尽量避免产生点火热芯。点火超强激光需要产生能量高于 MeV 的足够强的超热电子流，快速加热预压缩生成的高密度局部区域。这束激光要求 10^{20} W·cm^{-2}的强度，持续几个皮秒。为避免超热电子传输距离过长而失效，设想还需要另一束激光(大约 100 ps，10^{18} W·cm^{-2}) 先在预压缩生成的等离子体中打一个低密度通道，在其底部再产生所需的超热电子流。快点火的优点在于预压缩阶段容易实现(参见等密度内爆)，困难在于点火。这里涉及复杂的超强激光和等离子体的相互作用问题。　(撰写：常铁强　审订：朱少平)

kuaisu fanghua fenli

快速放化分离　rapid radiochemical separation　快速分离测



采用批式技术的分离装置图及分离时间表

量秒级短寿命核素的放射化学分离技术。它包括自动批式断续技术和在线连续技术两类。批式技术用于湿化学分离体系，化学分离作用发生在体系中化学分离装置内的活性反应层上，由时序程序控制系统按预定程序自动完成辐照、传输、化学分离和放射性测量（见图）。SISAK 是一种多级溶剂萃取分离系统，反冲热原子反应和热色谱是两种主要的气相化学分离系统，这三者均为在线连续分离技术，它们皆采用气体射流反冲传输（GJRT）技术远程输送反应产物。快速放化分离在裂变过程、粒子发射以及远离 β 稳定线非稳核性质研究等领域应用广泛，并且是目前研究示踪量超重元素的惟一方法。

（撰写：李学良　审订：郭景儒）

kuaizhongzi

快中子　fast neutron　动能大于某个指定值的中子。该值可因不同的研究对象（如反应堆物理、屏蔽或剂量学）而异。在中子核反应研究中以进入不可分辨共振能区作为界线，一般在10 keV以上，在反应堆物理中，这个值通常选为0.1 MeV。一般中子源发射的中子的初始能量多数在 MeV 量级，也即多数是快中子。快中子是研究原子核性质的有力工具，是研究核反应机制的重要手段。快中子核反应研究对核物理的发展起到了重要的作用。

（撰写：李景文　审订：丁大钊）

kuaizhongzidui nahuo xiaofang xitong

快中子堆钠火消防系统　sodium fire protection system of fast reactor　监测和扑灭钠冷快堆装置钠火的专用设施和系统的总称。钠火监测系统包括：所有安置钠设备的工艺间内的光电感烟探测系统、钠管道泄漏探测系统、工艺间气温测量系统和一回路工艺间排风管道中的放射性气溶胶监测系统。灭钠火系统包括：钠设备工艺间内的接钠盘系统、氮气淹没系统和膨胀石墨喷撒系统。钠设备均安置在密闭的工艺间内。这些工艺间的墙壁均有钢覆面，地板上可能漏钠的区域全部装有收集漏钠的接钠盘，每个房间内的接钠盘彼此连通形成一个整体，接钠盘顶部均装有漏钠排放管盖板以隔离房间内的空气。一旦发生钠泄漏事故，漏钠流入一个或数个接钠盘中氧化或燃烧。由于接钠盘中空气有限，燃烧的钠火将窒熄。为了防止钠火产生的高温损坏工艺间混凝土结构，在钢覆面与混凝土之间设有隔热层。在那些难以进行维修的一回路钠设备工艺间，还配备有氮气淹没系统：一旦发生钠火，钠火监测系统发出信号，自动停止该工艺间的正常送排风，并注入氮气灭火。

（撰写：萧勐泽　审订：田传久）

kuaizhongzidui na jiezhi xitong

快中子堆钠介质系统　sodium systems of fast reactor　钠冷快堆中钠冷却剂系统和中间回路钠冷却介质系统及其辅助系统的总称。在中间回路中，由二次泵将二次钠从中间热交换器管侧输送至钠—水蒸汽发生器的壳侧，把二次钠的热能传送给蒸汽发生器管侧的水，产生高压过热蒸汽。一、二回路的钠辅助系统有：钠净化系统，钠分析监测系统，钠接收及充、排钠系统等。这些钠辅助系统都是独立的，相互隔离的。

（撰写：萧勐泽　审订：田传久）

kuaizhongzidui na shebei qingxi xitong

快中子堆钠设备清洗系统　cleaning system for sodium equipment of fast reactor　将钠冷快堆中与钠接触且需检修更换的机械设备中残留的钠清洗干净的系统。这些设备从系统中拆卸出来送往检修车间前，需要把其中残留的钠（带放射性的一次钠或非放射性的二次钠）清洗干净，去除表面附着的活化污物。通常采用的清洗方法有：使用与钠不产生剧烈化学反应的有机液体清洗；或者采用水蒸气和氮气的混合气体清洗，水蒸气的含量随设备中残留钠量的减少逐渐增加，直到清洗介质中氢浓度达到安全限值后，再用净化水冲洗。对有放射性污染及表面活化的设备还应使用专门配置的去污液来清洗，然后再用净化水冲洗干净。清洗须在密闭的专用容器中进行。不同大小的钠设备分别放入大、中、小三种清洗容器中清洗。清洗溶液经检测后排入专用的放射性废液收集槽处置。

（撰写：萧勐泽　审订：田传久）

kuaizhongzi liebian

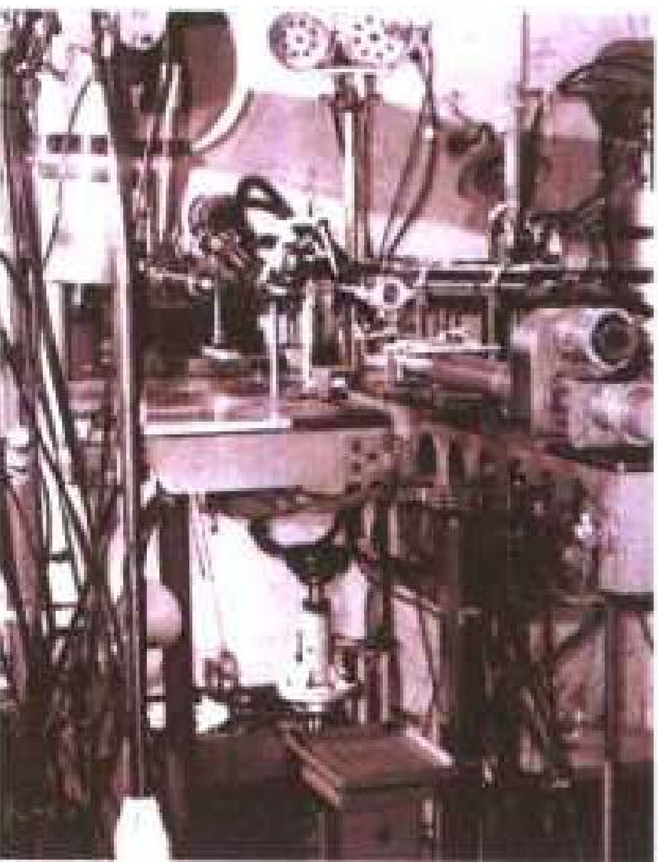
快中子裂变　fast neutron fission　能量超过 0.1 MeV 而小于 10 MeV 的中子引起的裂变。能量为几百 keV 的快中子裂变是维持快中子反应堆运行的主要核反应。一般说来，在裂变阈能以上的 1 MeV 范围内，裂变截面从零上升到第一个平台；中子能量为 5 MeV 或 6 MeV 时，裂变截面再次上升，其原因是吸收快中子后的复合核既可直接裂变，也可在发射一个中子后再裂变，在中子能量约为 8 MeV 附近达到第二个平台。同理，在中子能量更高时，裂变截面还可出现第三个平台等。

（撰写：韩洪银　审订：张焕乔）

K

kuaizhongzi linjie zhuangzhi

快中子临界装置　fast neutron critical facility　测量高富集度金属铀或钚的缓发临界质量和中子参数等的装置。由于运行功率非常低（仅为数瓦），因此也称为零功率堆。核武器实验研究用临界装置的活性区为无慢化剂的高富集度金属铀或钚的球形元件。一种典型的结构是将一部分活性区固定在平台的托板上，另一部分安装在可以上下传动的活动杆上，以便通过遥控“慢进、步进”进行装配。当中子增殖达到预置的上限值时，这部分裂变材料元件作为“安全块”迅速快退、分离以保证装配的安全。反射层用贫化铀壳，其中挖个槽，安装可以传动的“调节棒”，以便调节中子反射条件，使系统达到缓发临界状态。我国建立的第一个快中子临界装置，如图所示。该装置于 1965 年 3 月达到临界运行。临界装置可以精确测定临界质量，中子注量分布、中子能谱分布以及各种宏观参数，以便校正理论计算方法和所采用的核参数。



中国工程物理研究院快中子零功率堆外貌

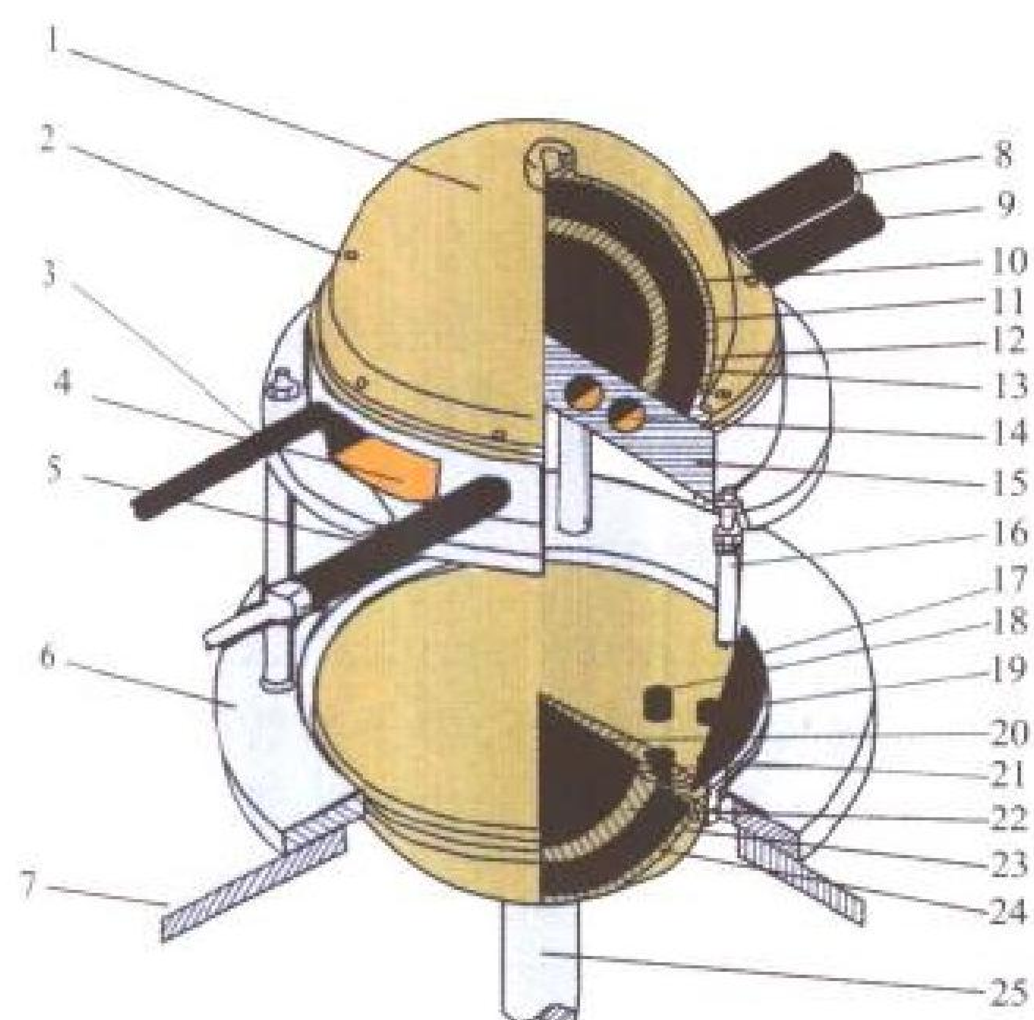
（撰写：赖祖武　审订：郑绍唐）

kuaizhongzi maichong dui

快中子脉冲堆　fast neutron pulse reactor　从产生超瞬发临界态获得模拟核爆炸脉冲中子的快中子装置。它是在快中子（缓发）临界装置基础上迅速插入一根反应性略大于 \$1（如 \$1.3～\$1.5）的“脉冲棒”，使堆由瞬发中子引起的裂变率以极短周期（10～100 μs）增长，达到非常高的裂变率。但裂变所产生的能量又使堆温迅速升高，并使堆体活性区膨胀，从而导致反应性下降。这样，裂变率达到最大值以后又迅速下降，形成一个爆发脉冲的“峰”，随后又有一个缓发中子


图 1 CFBR−Ⅱ快中子脉冲堆外貌

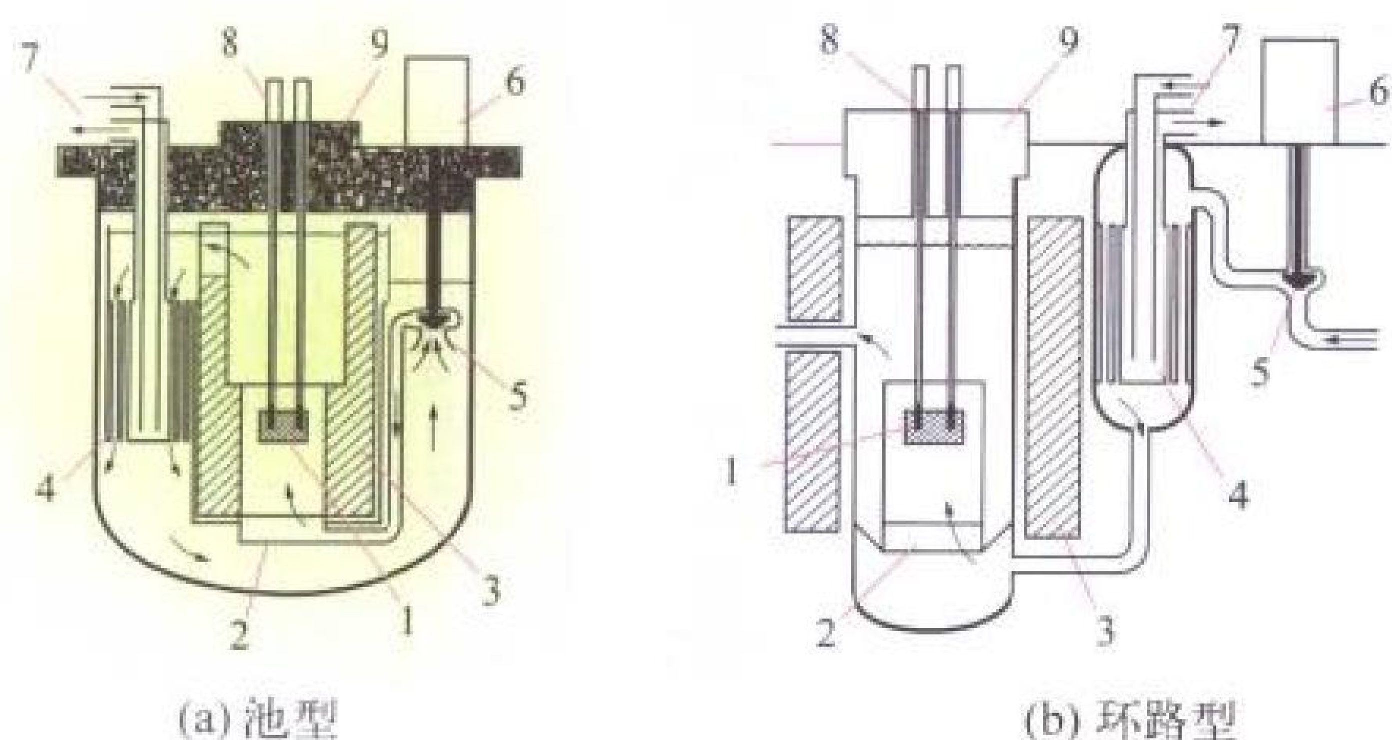
“坪”，继而反应猝灭。以中国工程物理研究院的 CFBR−Ⅱ快中子脉冲堆为例，爆发脉冲的半高宽为 30～80 μs，每次爆发的裂变数 f 为 10^{15}～10^{18}。中子注量在堆中心为 10^{17}～10^{19} cm^{-2}，同时伴随 γ 射线，γ 吸收剂量率在堆中心约为 10^{-2} Gy·s^{-1}，在堆表面的中子注量及 γ 吸收剂量约小一个量级。中子的平均能谱接近裂变谱，平均能量为 1.5 MeV，γ 光子的平均能量约为 1 MeV。快中子脉冲堆可以模拟核爆炸中子源，提供作中子辐射效应实验用。外貌如图 1 所示，CFBR−Ⅱ的结构如图 2 所示。


图 2 CFBR−Ⅱ快中子脉冲堆剖视图
1—去耦罩；2—M6 螺丝钉；3—自动棒；4—辐照腔；5—脉冲棒；6—铝圆环；7—装置铝平台；8—中子源管；9—补偿棒；10—铜上球壳(外)；11—铜上球壳；12—贫化铀上球壳；13—辐照孔道；14—不锈钢中心盘；15—支撑杆；16—铜调节塞盘；17—A 调节塞；18—B 调节塞；19—浓缩铀上球壳；20—浓缩铀下球壳；21—调节塞穴；22—铜下球壳；23—贫化铀下球壳；24—铜下球壳（外）；25—主传动杆

（撰写：赖祖武　审订：郑绍唐）

kuaizhongzi zengzhi fanyingdui

快中子增殖反应堆　fast neutron breeder reactor (FBR)　主要由快中子引起裂变的核反应堆，简称快中子堆或快堆（见图）。它没有慢化剂，要用高富集度铀或钚作燃料，装料量比热中子堆多 30～40 倍。快中子裂变产生的中子数多，可以有较多中子用来使 ^{238}U 转换成新的易裂变核素 ^{239}Pu，即可以增殖，使核资源的利用率由热中子堆的 1% 左右提高到 60%～70%，因而为解决核能发展的长远核资源问题开辟了良好的前景。目前世界上的快堆都用钠作冷却剂，有池形和环路形两种，都是三回路布置。由于技术复杂，又增加了一个中间回路，因而造价较高，短期内在经济上还很难与热中子堆竞争。　（撰写：陈叔平　审订：连培生）


(a) 池型　(b) 环路型
快中子堆结构示意图
1—堆芯；2—堆芯支承结构；3—中子屏蔽层；4—中间热交换器；5—一回路钠泵；6—钠泵；7—中间回路钠流；8—控制棒驱动机构；9—旋塞

kuaizhongzi zhiliao

快中子治疗　fast neutron treatment　利用加速器产生的快中子束治疗恶性肿瘤的放射治疗方法。快中子为不带电粒子，具有很强的穿透能力，且传能线密度(LET)高，在生物组织内衰减时，形成具有高生物效应的电离粒子，对乏氧恶性肿瘤细胞呈现出特殊的敏感性，尤其适于常规射线治疗效果不明显的肿瘤治疗。快中子多用于诸如腮腺癌、黑色素瘤、前列腺癌、成骨肉瘤、软骨肉瘤、滑膜肉瘤、肺癌等恶性肿瘤的治疗，疗效显著。　（撰写：王荣福　审订：吕延晓）

kuanshu tiaojian

宽束条件　broad-beam condition　描述辐射在介质中被减弱的一种条件，在该条件下辐射场包括初级辐射（未散射辐射）和散射辐射。在计算实际的 γ 辐射场时，根据源和介质的特性，一般需考虑散射辐射的贡献。此时，表征 γ 辐射场的量（如注量、能注量等）包括初级辐射和散射辐射成分。因为有了散射辐射的贡献，导致简单指数减弱的条件被破坏了，故称其为宽束条件。它又称“坏几何条件”。在测量实际的 γ 辐射场时，除非为了特殊的实验目的，测量工作一般都是在 γ 射线未经准直的情况下进行的。此时到达探测器的射线包括未散射辐射和散射辐射。对于无鉴别能力的探测器，在宽束条件下测得的指示值大于窄束条件下的指示值。
（撰写：徐明达　审订：陈明焌）

kuangchuang kaituo

矿床开拓　development opening for underground mining　从地表开掘通达矿床的井巷，形成开发矿床所必备的提升、运输、行人、通风、排水、充填及安全出口等完整井巷系统。矿床开拓方案有：平洞开拓、竖井开拓、斜井开拓、斜坡道开拓及联合开拓。我国铀矿山采用斜井和盲斜井开拓较多，主要原因是铀矿床埋藏不深，斜井施工方便、造价不高；其次，采用平洞—斜井（或竖井）联合开拓的也相当多，主要原因是我国的铀矿山大多地处山区，部分矿体在侵蚀基准面以上，具备平洞开拓的自然条件。　（撰写：王昌汉　审订：李开文）

kuangjiang cuiqufa

矿浆萃取法　solvent-in-pulp extraction process　用有机溶剂直接从浸出矿浆或稀释后的矿浆中萃取分离金属的方法。矿浆浓度不宜过高，一般以 30% 左右较好。矿浆萃取是两个液相（有机相和水相）和一个固相组成的萃取体系，过程中既要求有机相与水相能够充分接触，达到高的传质效率，同时还必须使完成萃取后的有机相与矿浆充分分离，所以萃取设备比清液萃取复杂，操作条件也更为苛刻。胺类萃取剂比磷类萃取剂更易被矿粒表面吸附而造成萃取剂损失。矿浆萃取过程可以在箱式混合澄清器中进行，也可以在塔式萃取设备中

实现，但都必须充分考虑固相的流动转移方式。减小溶剂损失和研制高效适用的萃取设备是矿浆萃取法工业应用的关键。

（撰写：程光荣　审订：牛玉清）

kuangjiang lizi jiaohuan

矿浆离子交换 resin-in-pulp ion exchange 又称树脂矿浆法。用离子交换树脂直接从浸出矿浆中吸附提取铀等元素的一种离子交换工艺过程。进行矿浆离子交换的设备主要有两类：搅拌床及流化床。前者利用空气或机械搅拌使树脂与矿浆充分混合；后者利用矿浆向上流动使树脂颗粒悬浮其中。早期为间歇法操作，后来发展为连续逆流操作，近几年来，又发展了效率更高的脉冲流化床连续逆流矿浆吸附塔。为了进行矿浆与树脂的分离，要求树脂粒度较粗（一般为 0.6 mm 以上）；在流化床矿浆吸附中，最好采用加重或大密度树脂以提高设备的处理能力。矿浆离子交换吸附的最大优点是可以省去昂贵的固液分离，成本较低。在其他行业（如氰化提金）中，树脂矿浆法也得到较广泛的应用。（撰写：许根福　审订：关自斌）

kuangjiang xifucao

矿浆吸附槽 resin-in-pulp adsorption tank 能直接用离子交换树脂从浸出矿浆中吸附提取铀等元素的槽式设备。按物料运动状况不同，该设备可分为搅拌床及流化床两类。前者又有空气搅拌及机械搅拌两种。即使采用同一搅拌方式的矿浆吸附槽，其具体构型差异也很大。其共同点是需将这种吸附槽多台串联构成一个吸附系统进行操作。搅拌床矿浆吸附槽的特点是：可处理细颗粒固体质量分数达 30% 或更高的浓矿浆，设备结构简单，操作方便，适应性强，处理能力大等；其缺点是：传质效率低，串联的台数较多，树脂投入量大且磨损率较高。（撰写：许根福　审订：关自斌）

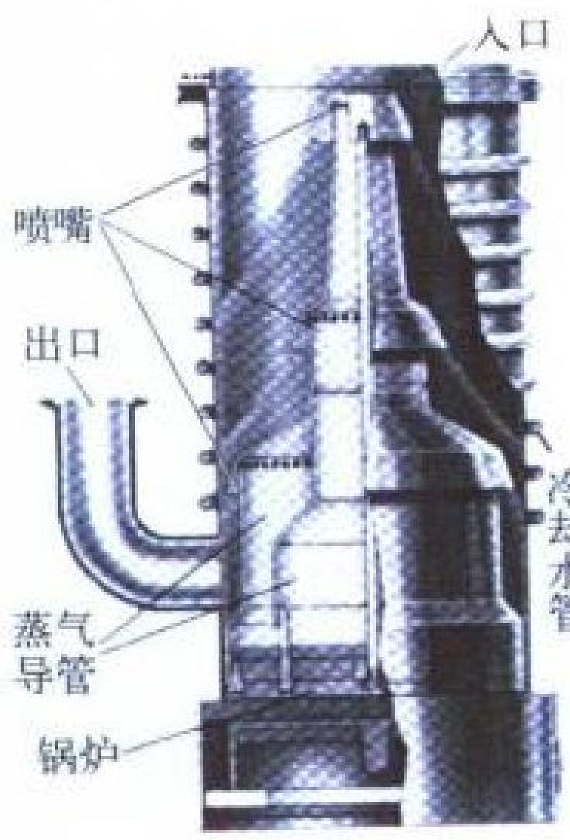
kuangshi sunshi yu pinhua

矿石损失与贫化 ore loss and ore dilution 矿石损失指在开采过程中，由于某些原因导致部分工业矿石丢失。损失的量与工业储量之比率称矿石损失率。矿石贫化是指在开采过程中，由于矿体上下盘围岩或矿体中夹石混入，或运矿中富粉矿丢失等原因，使采出矿石品位较之未采之前工业矿石品位降低的情况。工业矿石品位与采出矿石品位之差对工业矿石品位之比率称为矿石贫化率。矿石的损失与贫化分别反映矿产资源利用情况和采出矿石的质量情况。

（撰写：王昌汉　审订：李开文）

kuosan beng

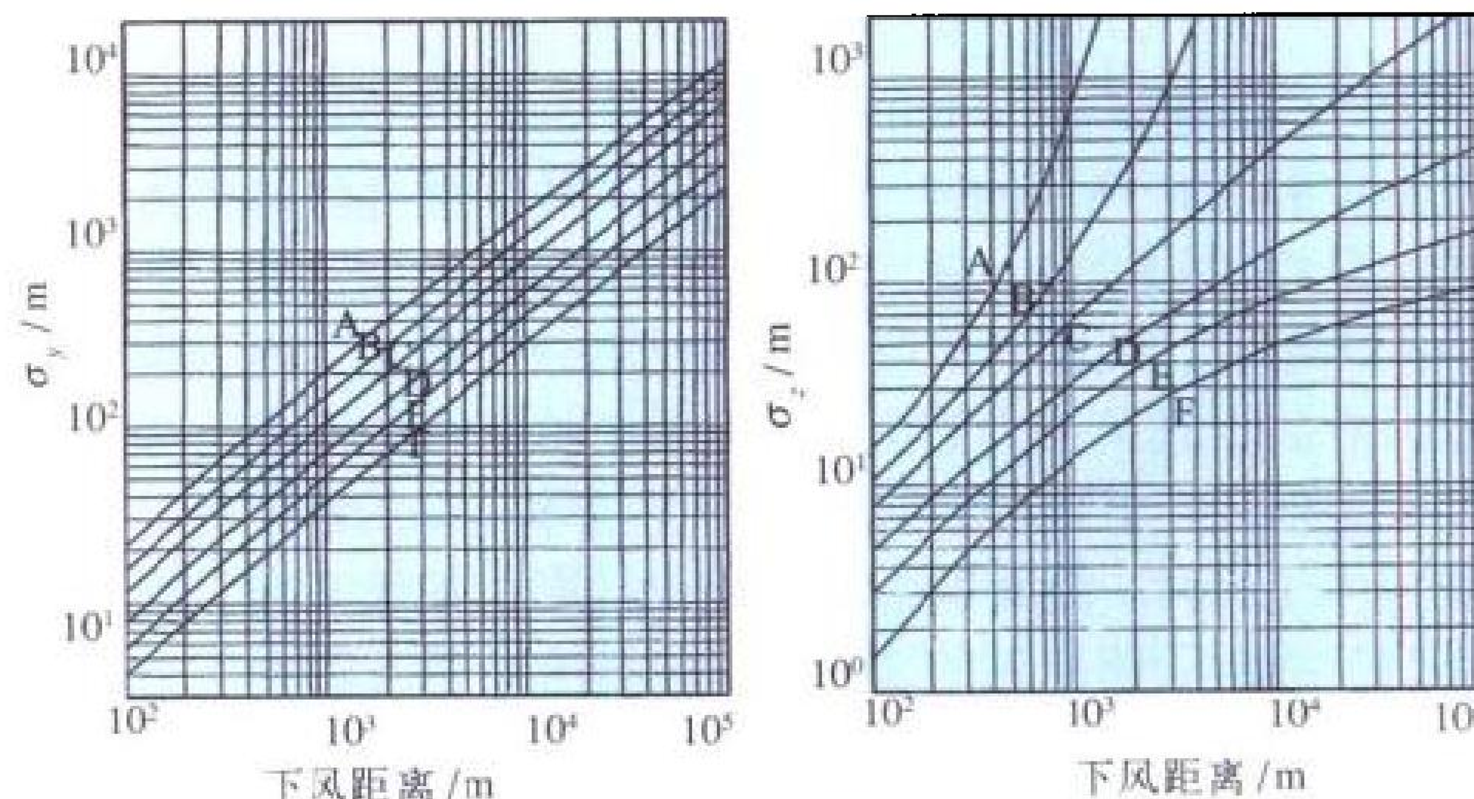
扩散泵 diffusion pump 在压强低于 0.133 Pa 的分子流条件下工作的，以低压强高流速蒸气（矿物油、合成油或汞等蒸气）喷气流作为工作介质传输气体动量的真空泵。扩散泵由其锅炉产生的不含气体的工作蒸气沿蒸气导管流至喷嘴，并定向地朝出口方向喷出，由于分压差，入口气体以高的速度不断向蒸气喷气流中扩散，被蒸气向出口方向挟带而压缩，从出口排出，由前级泵抽除。工作蒸气流在冷却的泵壁冷凝成液体后流回锅炉，循环使用。目前，常用的油扩散泵为三级泵（见图）。（撰写：陈文奎　审订：关遐令）



扩散泵示意图

kuosan canshu

扩散参数 diffusion parameter 大气污染物浓度空间分布的标准差，用来反映污染物相对于扩散平均位置的离散程度的参量。大气污染物随平均风搬运的同时因湍流作用在各方向扩散展开，形成了一定形式的空间浓度分布。分布的标准差大小标志着大气的扩散稀释能力，是污染物浓度计算公式中的重要基本参量。通常将沿平均风和横平均风及垂直方向的浓度分布标准差分别称为纵向、侧向和垂向扩散参数，以 σ_x,σ_y 和 σ_z 表示。扩散参数随扩散时间或扩散距离的增加而增大，其大小和增长规律取决于大气稳定度、地面粗糙度等因素，是大气扩散理论和实验研究的主要内容。实用大气扩散估算中，扩散参数一般从前人归纳推荐的图表或公式选取确定。例如，与高斯烟羽模式相配套的帕斯奎尔—吉福德扩散参数图（见图）按稳定度类别分别给出侧向扩散参数 σ_y 和垂直扩散参数 σ_z 随下风距离的增长曲线。该图是根据早年大量野外扩散实验结果归纳得到的，虽然在某些方面有局限性，但应用广泛并为大量技术法规和导则所推荐（参见大气稳定度）。（撰写：蔡旭晖　审订：陈家宜）



帕斯奎尔—吉福德扩散参数图

kuosan changdu

扩散长度 diffusion length 扩散面积 L^2 的平方根。L 是描述热中子在系统内的散射和吸收特性的物理量，综合反映了热中子在系统内的迁移特性。在有限大系统内，热中子不泄漏概率与 L 有关。常用慢化剂和典型堆的热中子扩散长度 L 如表所示。

常用慢化剂和典型堆的热中子扩散长度

慢化剂与典型堆	H_2O	D_2O	Be	石 墨	压水堆	沸水堆	高温气冷堆
L /cm	2.85	170	21	59	1.8	2.2	12.0

（撰写：何可学　审订：许谨诚）

kuosan fenli jizu

扩散分离机组 diffusion separation unit 气体扩散工厂级联中可独立退出、进行检修或处理的基本单元。采用截断阀门及旁路绕流管路将机组从级联中断开出来而不至于对整个级联的运行造成明显影响。鉴于气体扩散工厂级联均由千台以上的扩散机组成并连续运行，由于扩散机压缩机的轴承寿命有限，需安排定期检修更换，同时也考虑到扩散机其他部件损坏的可能性，所以将整个扩散级联划分为若干机组，每个机组由一定数量的扩散机组成，在定期检修或异常处理时以机组为单

位自级联中断开出来，待完成检修处理后再将机组投入级联运行。每个机组所包含扩散机的具体数量，应在气体扩散工厂设计时根据技术经济评价来加以确定。

（撰写：谢庄应　审订：应纯同）

kuosan fenliqi

扩散分离器　diffuser　气体扩散法中起分离作用的核心部件，其内装有多孔分离膜，用于对六氟化铀气体中 $^{235}UF_6$ 组分进行富集。扩散分离器的基本结构是：根据设计要求将分离膜管在分离器内以并联及串联方式装配在分离器座架上，分离器前后除了分离膜微孔外应保持严格密封；在分离膜管内装有专用元件，它在扩散机运行时用于减小膜前 $^{235}UF_6$ 丰度因向膜后扩散所出现的降低，以改善单级富集系数；分离器除了有供料外还有两通道，其一将透过分离膜管 $^{235}UF_6$ 丰度提高了的轻馏分送入下一级作为下一级供料的一部分；另一通道将从分离器流出的 $^{235}UF_6$ 丰度已降低了的重馏分送回前一级再次富集。　（撰写：谢庄应　审订：应纯同）

kuosan fenli tiaojieqi

扩散分离调节器　adjuster for gaseous diffusion separation　气体扩散工厂所用的通过自动调节机构调整并维持气体压力或流量恒定的设备。就其功能可分为两种类型。第一种称为级间调节器，装设在扩散机的贫化馏分管路上，用以调整并维持分离器膜前压力的恒定，它属于扩散级的组成部分，其功能是保证扩散级联各级在运行中流体运动的稳定性，当出现流体干扰时，级间调节器将使干扰影响逐级衰减。第二种类型为级联管路使用的调节器，包括流量调节器和压力调节器。级联水力学研究表明，正确地安装调节器后，能保证级联处于水力学的正确状态。要求气体扩散工厂所使用的这两种类型调节器具有对 UF_6 的抗蚀性、良好的真空密封性、运行的可靠性及较长期的使用寿命。

（撰写：谢庄应　审订：应纯同）

K

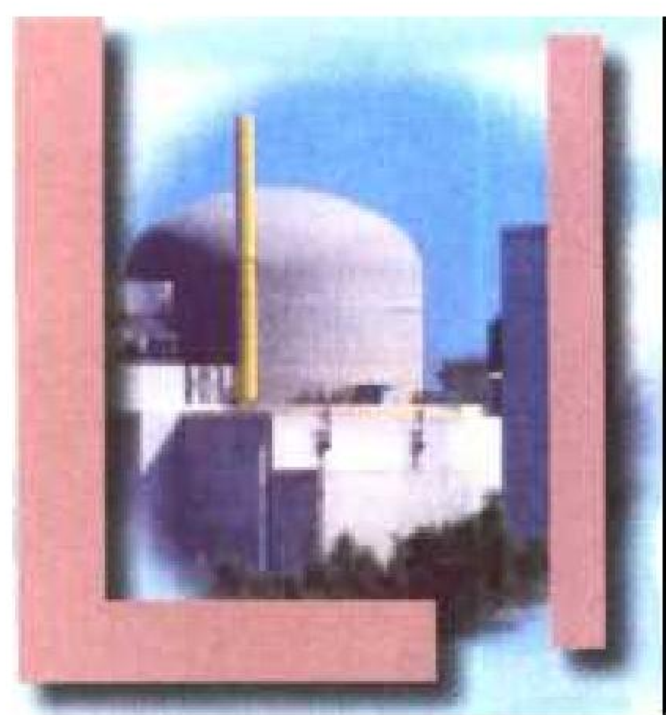
kuosan fenli yasuoji

扩散分离压缩机　compressor for gaseous diffusion separation　气体扩散工厂用于抽取并提高 UF_6 气体压力的设备。气体扩散级联的每台扩散机上均装有压缩机，其作用是逐级输运 UF_6 气体以保持分离过程的连续进行。具体而言，第 n 级压缩机将第 $(n-1)$ 级穿过分离膜的 ^{235}U 浓缩的轻馏分与第 $(n+1)$ 级 ^{235}U 贫化的重馏分合在一起并提高压力输送至第 n 级分离器进行浓缩。压缩机的电耗是气体扩散级联电耗的主要部分，也是气体扩散工厂单位分离功电耗的主要组成部分，改进和提高扩散机压缩机及电机的效率是降低分离功成本的重要内容之一。此外，在级联的供料、精料和贫料等管路上也使用压缩机（称为补压机），用于 UF_6 气体增压以克服管路阻力或用于提高冷凝容器的装料量。

（撰写：谢庄应　审订：应纯同）

kuosan mianji

扩散面积　diffusion area　在无限大均匀介质内，热中子从产生点到被吸收的点所飞行的直线距离均方值的六分之一，常用 L^2 表示。在扩散理论成立的条件下，扩散面积可由下式给出：$L^2=D/\Sigma_a$。式中 D 为介质的热中子扩散系数；Σ_a 为介质的热中子宏观吸收截面。（撰写：何可学　审订：许谨诚）



Lading meizhou he Jialebi diqu jinzhi hewuqi tiaoyue

《拉丁美洲和加勒比地区禁止核武器条约》 Treaty for the Prohibition of Nuclear Weapons in Latin America and the Caribbean 又称《特拉特洛尔科条约》。墨西哥、智利等14个拉丁美洲国家于1967年2月14日在墨西哥城的特拉特洛尔科区签订。条约无限期有效。条约采取对缔约国分别生效的方式，1967年9月20日首先对墨西哥生效。至1995年，33个拉美国家已全部签署该条约，其中28个国家批准并对其生效。条约由序言、31条正文、1项过渡性条款和2个附加议定书组成。主要内容是：缔约国只能为和平目的利用核能和进行核装置爆炸；禁止以任何方式在各自领土上试验、生产、部署、贮存、使用任何核武器；不得以任何方式接受、贮存、安装、部署和拥有任何核武器；不得以任何方式参加任何核武器的试验、制造、使用、拥有或控制。条约第1号附加议定书要求在本条约区外，但对本条约区内的领土在法律上或事实上负有国际责任的国家，承担本条约规定的义务。至1992年8月，与该议定书有关的英国、荷兰、美国和法国已签署并批准。第2号附加议定书要求有核武器国家尊重该地区的无核区地位，并不对缔约国使用或威胁使用核武器，我国于1973年8月12日签署第2号附加议定书。

（撰写：段占元　审订：唐西生）

lanxi axi yuansuzu fenli

镧系—锕系元素组分离 group separation of lanthanides and actinides 将辐照过核燃料中的镧系与锕系两组元素分离，特别指通常以三价存在的锕系元素（镅、锔）与裂变产物镧系元素的分离过程。三价镧系元素和锕系元素化学性质十分相近，因此它们之间的分离难度较大。对辐照过核燃料进行化学后处理时，除有千分之几的铀、钚留在废液中外，裂变产物及次要锕系元素也都进入高放废液。目前世界上已发展的从高放废液中分离锕系元素的流程多数是把镧系元素与三价锕系元素分在一起，为了将长寿命的锕系元素嬗变成短寿命核素和使镧系元素成为非α废物，均需将镧系元素与三价锕系元素分开。具有实际应用价值的流程是Talspeak法。最近清华大学发现2，4，4–三甲基戊基二硫代膦酸萃取法可有效分离三价镧系和锕系元素，是很有应用前景的方法。

（撰写：焦荣洲　审订：林漳基）

langmiuer pinlü

朗缪尔频率 Langmuir frequency 见等离子体振荡。

laoxun panju

劳逊判据 Lawson criteria 达到核聚变点火条件的判据。作为能源，要求等离子体温度必须高到能克服彼此间的库仑斥力而碰撞发生聚变反应，并且获得的核能高于产生和维持高温等离子体所需的输入能量。取核聚变能转换到等离子体能量的热效率为1/3，令离子温度T_i= 15 keV（约1.7亿摄氏度），则要求等离子体密度n与等离子体能量约束时间τ的乘积$n\tau$的最小值约为0.6 × 10^{20} m^{-3}·s。T_i和$n\tau$的乘积即为著名的劳逊判据。近年来，常用“聚变三乘积”来衡量等离子体参数。能量得失相当，即物理可行性验证要求Q_{DT}= 1，要求$n\tau T$乘积为2 × 10^{21} m^{-3}·s·keV。

（撰写：钱尚介　审订：黄 林）

lao

铹 lawrencium 一种人工放射性元素，化学符号Lr，原子序数103，是锕系元素的最后一个成员。因纪念回旋加速器的创始人，美国物理学家E.O.劳伦斯（Lawrence）而命名。半衰期最长的铹同位素是^{262}Lr（216 min）。1961年美国科学家A.吉奥索（Ghiorso）等用加速的硼离子（^{11}B, ^{10}B）轰击锎靶，合成出^{258}Lr，半衰期约4 s。此后苏联Г.Н.弗廖罗夫（Флёров）等用加速的氧离子轰击镅靶，通过下述核反应生成了同位素^{256}Lr和^{257}Lr：^{243}Am（^{18}O，5n）^{256}Lr，^{243}Am（^{18}O，4n）^{257}Lr，并用测量^{256}Lr的衰变链子体^{252}Fm的方法，鉴定了^{256}Lr。铹原子的电子构型可能是（Rn）$5f^{14}6d^17s^2$。氯化铹的行为与三价的锕系元素（如锔、锎、锿）氯化物的行为相似。

（撰写：徐鸿桂　修订：罗文宗　审订：崔安智）

leidaokesi liucheng

雷道克斯流程 Redox process 用异己酮（又称甲基异丁基酮，MIBK）作萃取剂、硝酸铝作盐析剂，从辐照过核燃料的硝酸溶液中分离提取钚和铀的溶剂萃取法核燃料后处理流程。该流程于1951年在汉福特（Hanford）建厂投产。由于MIBK在水中的溶解度高，易挥发，闪点低，毒性较高，采用硝酸铝作盐析剂使废液体积很大，因此，雷道克斯流程早已废弃不用。（撰写：马栩泉　审订：林漳基）

lei

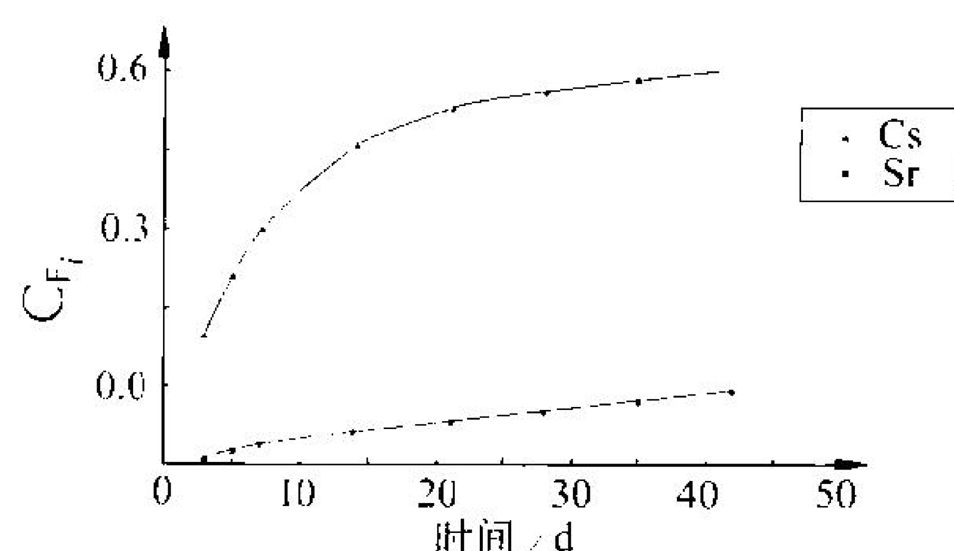
镭 radium 一种天然放射性元素，化学符号Ra，原子序数88，属周期系ⅡA族。其英文名来源于拉丁文radius，原意为“射线”。1898年M.居里（Curie）和P.居里等从沥青铀矿矿渣中发现了镭。现已发现质量数205～234的全部镭同位素，其中^{226}Ra半衰期最长（1600 a），为铀镭放射性衰变系的成员，是镭的最重要的同位素。金属镭有银白色光泽，熔点700℃，沸点低于1140℃，密度约5 g/cm^3，体心立方晶格。镭原子的电子构型为（Rn）$7s^2$，是典型的碱土金属，氧化态+2，化学性质活泼。钡与镭的性质十分相似，因此常用钡作微量镭的载体。镭可用于制备γ标准源和镭—铍中子源。

（撰写：岑运骅　修订：郭景儒　审订：崔安智）

leiji jinchu fenshu

累积浸出分数 integrated leach fraction 固化体浸出试验时，固化体内某组分累计浸出的分数。它由下式得出

$$C_{F_i} = \frac{\sum A_i}{A_0}$$



水泥固化体累积浸出分数与时间的关系

式中 C_{F_i} 为组分 i 的累积浸出分数；$\sum A_i$ 为组分 i 的累计浸出量；A_0 为组分 i 的初始量。这是表示固化体浸出性的一种方式。与其他表示方法一样，其大小除与固化体本身的化学稳定性有关外，还与浸出试验方法及浸出试验条件有关。只有采用同样的浸出试验方法在同样的条件下进行的浸出试验，才可比较不同固化体的化学稳定性。

（撰写：汤宝龙　审订：罗上庚）

leijiliebian chan'e

累积裂变产额　cumulative fission yield　见裂变产额。

lengzhuxing ranliao yuanjian

棱柱形燃料元件　prismatic fuel element　柱床形高温气冷堆使用的燃料元件。制造工艺除了棱柱形石墨加工以外，还包括混料、注塑成形、元件装配和热处理四道工序。

（撰写：邱学良　审订：李文琰）

lengdongba

冷冻靶　cryogenic target　利用液氦低温（约 3.8 K）把聚变燃料氘氚气体在热核聚变靶丸中进行冷冻，在其内壁形成固体氘氚冰层或液体氘氚层的靶。研制燃料层分布均匀冷冻靶（充以 150 MPa 的压力）的关键技术是克服地球引力的冷冻工艺。相继发展了点接触低温冷冻法、快速等温冷冻法、热梯度法等外部低温直接冷冻技术和泡沫冷冻技术、β 分层技术、等离子体分层技术等。这些技术各有优缺点，适合不同尺寸靶丸。　（撰写：唐永建　审订：江文勉）

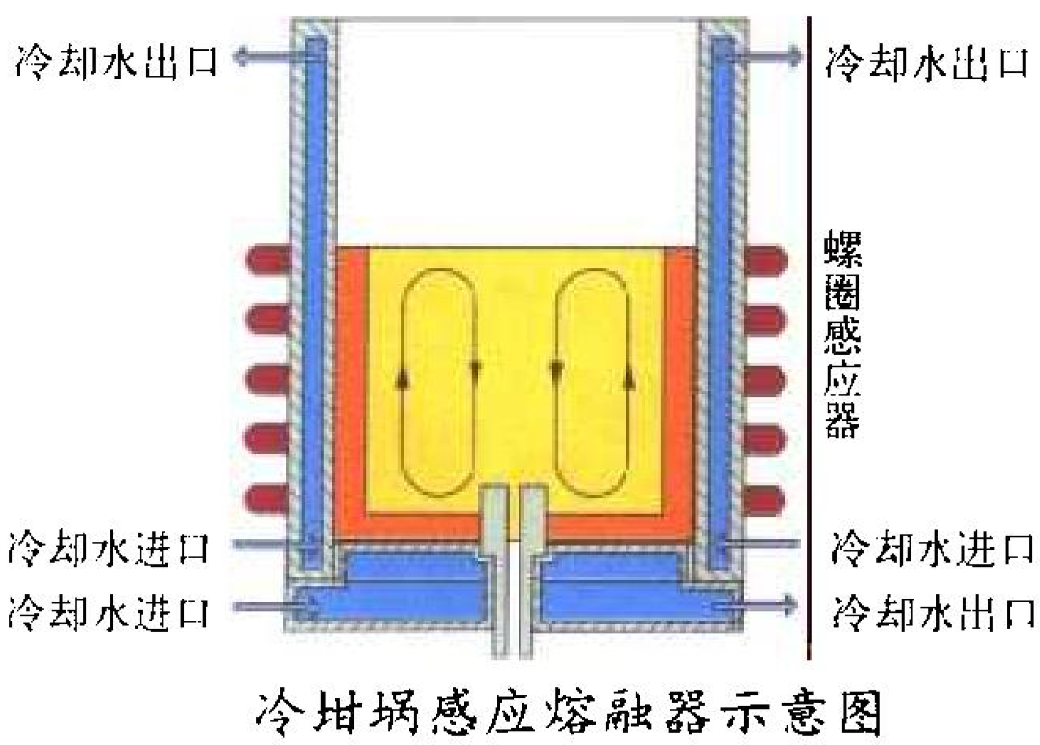
lengduanjie fangdaqi

冷端接放大器　cold termination amplifier　一种具有虚拟输入电阻的放大器。其虚拟的输入电阻可用调节放大器的某些参量加以控制，使之适合于作为某种设备或传输线的匹配终端。由于这种匹配终端是虚拟的，不存在输入电阻实体，从而降低了热噪声的贡献，提高了系统的信噪比。

（撰写：倪建平　审订：席德明）

lengganguo ganying rongrongfa

冷坩埚感应熔融法　direct induction heated cold crucible melting process　利用冷坩埚感应加热熔融实现废物玻璃固化的一种方法。冷坩埚是由金属管组合而成的圆形或椭圆形容器，工作时金属管内通冷却水，因此尽管坩埚内熔融物的温度高达 1600℃以上，但坩埚壁的温度仍是较低的（<200℃），故称"冷坩埚"。冷坩埚熔融器利用物料的导电性直接感应加热。高频发电机产生的高频电流在螺圈感应器内产生高频电磁场，此高频电磁场穿过冷坩埚金属管间缝隙在物料内产生感应电流，并因焦耳效应而发热。因此只要在高温下能导电的物料均可在里面熔制。由于冷坩埚能实现高熔制温度，而冷坩埚本身无实质性腐蚀，因此使用寿命长，发展较快。它不仅可用于放射性废物玻璃固化，还可用于废金属熔炼、熔盐化学反应以及固体废物焚烧等。



冷坩埚感应熔融器示意图

（撰写：汤宝龙　审订：罗上庚）

lengjubian

冷聚变　cold nuclear fusion　又称常温核聚变。固体吸氢（氘）后所发生的各种异常核现象的总称。化学促成的核反应，或低能核反应。1989 年公开的实验结果：电解重水时散逸出的总能量会高于输入的电能，称为"过热"现象。由于"过热"的总量远远超出了任何化学能，因此被认为是核过程。但"过热"并不伴随着大量的中子和γ辐射。因为实验较难重复，所以成为一个有争议的课题。各国的研究工作持续起伏，还发现了"滞后发热"、"过热"与氦-4 关联、氘核三体反应产额异常增大、低能核嬗变等一系列新现象。

（撰写：李兴中　审订：钱尚介）

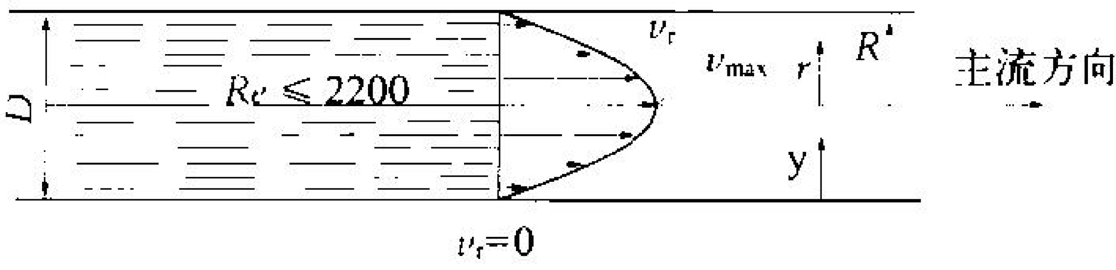
lengqidong

冷起动　cool startup　反应堆处于冷停堆状态下的起动。压水堆核电厂冷起动主要步骤包括：反应堆冷却剂系统充水和排气、冷却剂除氧和调整 pH 值、稳压器建立汽腔、按照规定的速率将反应堆冷却剂系统升温升压到热停堆状态、反应堆临界、汽轮发电机起动、并网发电及提升功率。达到热停堆之后的起动操作同热起动（参见热起动）。

（撰写：宫广臣　审订：钱锦辉）

lengqueji cengliu

冷却剂层流　laminar flow of coolant　冷却剂各质点的运动都与壁面平行、各平行层之间不发生流体交混的流动状态（见图）。通常用雷诺数 $Re=\bar{v}D/v$ 来判断流体在管内是层流



冷却剂层流原理示意图

还是湍流，式中 $\bar{v}$ 为平均流速，D 为圆管直径，v 为流体运动黏度。当 $Re\leqslant 2200$ 时为管内层流。

（撰写：郝老迷　审订：陈玉宙）

lengqueji huanlu

冷却剂环路　coolant loop　与反应堆压力容器相连的反应堆冷却剂循环回路的并联流道。根据反应堆的不同功率，压水堆通常并联两至四条相同的冷却剂环路。每条冷却剂环路由一台蒸汽发生器、一至两台反应堆冷却剂泵（主泵）和反应

堆冷却剂管道(主管道)组成。反应堆至蒸汽发生器的主管道称热[管]段，蒸汽发生器至主泵的主管道称过渡[管]段(泵吸入段)，主泵至反应堆的主管道称冷[管]段。

(撰写：罗宁仁　审订：张维忠)

lengqueji jinghua xitong

冷却剂净化系统　coolant purification system　为去除反应堆冷却剂中的杂质、保持冷却剂规定的水质指标和放射性水平而设置的系统。压水堆核电厂的冷却剂净化系统通常属于化学和容积控制系统的一部分。反应堆冷却剂经降温降压后流过机械式过滤器和离子交换器，除去颗粒状或离子态的腐蚀产物和裂变产物。然后经喷雾装置进入容积控制箱的气腔，去除冷却剂中的裂变气体氪和氙。净化后的冷却剂再由上充泵重新输入反应堆冷却剂系统。沸水堆核电厂反应堆压力容器内的冷却剂由余热排出系统的管路引出，经降温后由净化泵输送至离子交换器，净化后的冷却剂由给水管路返回反应堆压力容器。　(撰写：张维忠　审订：杜圣华)

lengqueji qianredu

冷却剂欠热度　subcooling of coolant　冷却剂平均温度T_b低于其系统压力下饱和温度T_S的数值。即欠热度$\Delta T_{sub}=T_b-T_s$。

(撰写：郝老迷　审订：陈玉宙)

lengqueji shuifeiteng

冷却剂水沸腾　boiling of coolant water　冷却剂水内部或界面上生成蒸汽的过程。沸腾有两种基本类型：池式沸腾(见图1)和流动沸腾(见图2)。前者指浸没在大容积静止液体内的加热面上的沸腾，后者指在流体流动系统内(通常流道壁为加热面)的沸腾。沸腾按形态分为泡核沸腾、膜态沸腾和过渡沸腾。围绕加热壁面上的或者液体里面的起泡核心生成蒸汽泡的沸腾叫泡核沸腾(见图3)；在加热壁面上生成一层连续稳定的蒸汽膜覆盖壁面的沸腾叫膜态沸腾(见图4)；在加热壁面上交替发生泡核沸腾和膜态沸腾，即液—汽交替覆盖部分受热面的沸腾叫过渡沸腾。沸腾还可以按液体整体温度分成饱和沸腾和欠热沸腾。前者液体整体处于与系统压力相应的饱和温度下；后者液体整体所处的温度比饱和温度低。此外还有整体沸腾，它与加热面上的表面沸腾不同，是由于化学反应或核反应使液体内部释热，或者由于系统压力突然降低使液体过热，从而使液体整体内部同时发生沸腾。

(撰写：郝老迷　审订：陈玉宙)

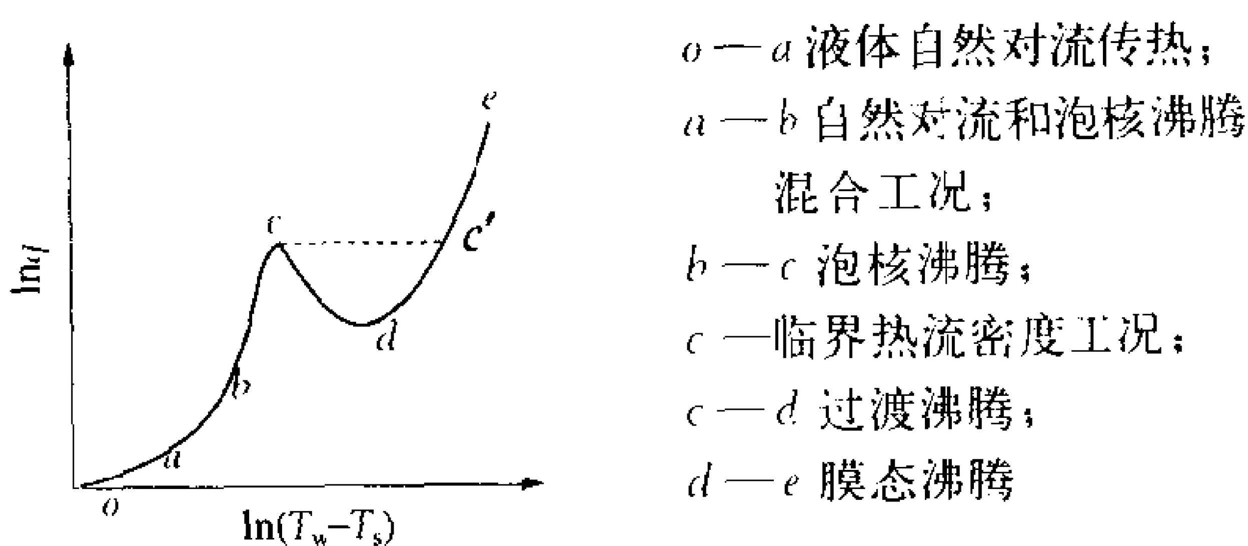


图1　饱和池式沸腾工况(沸腾曲线)

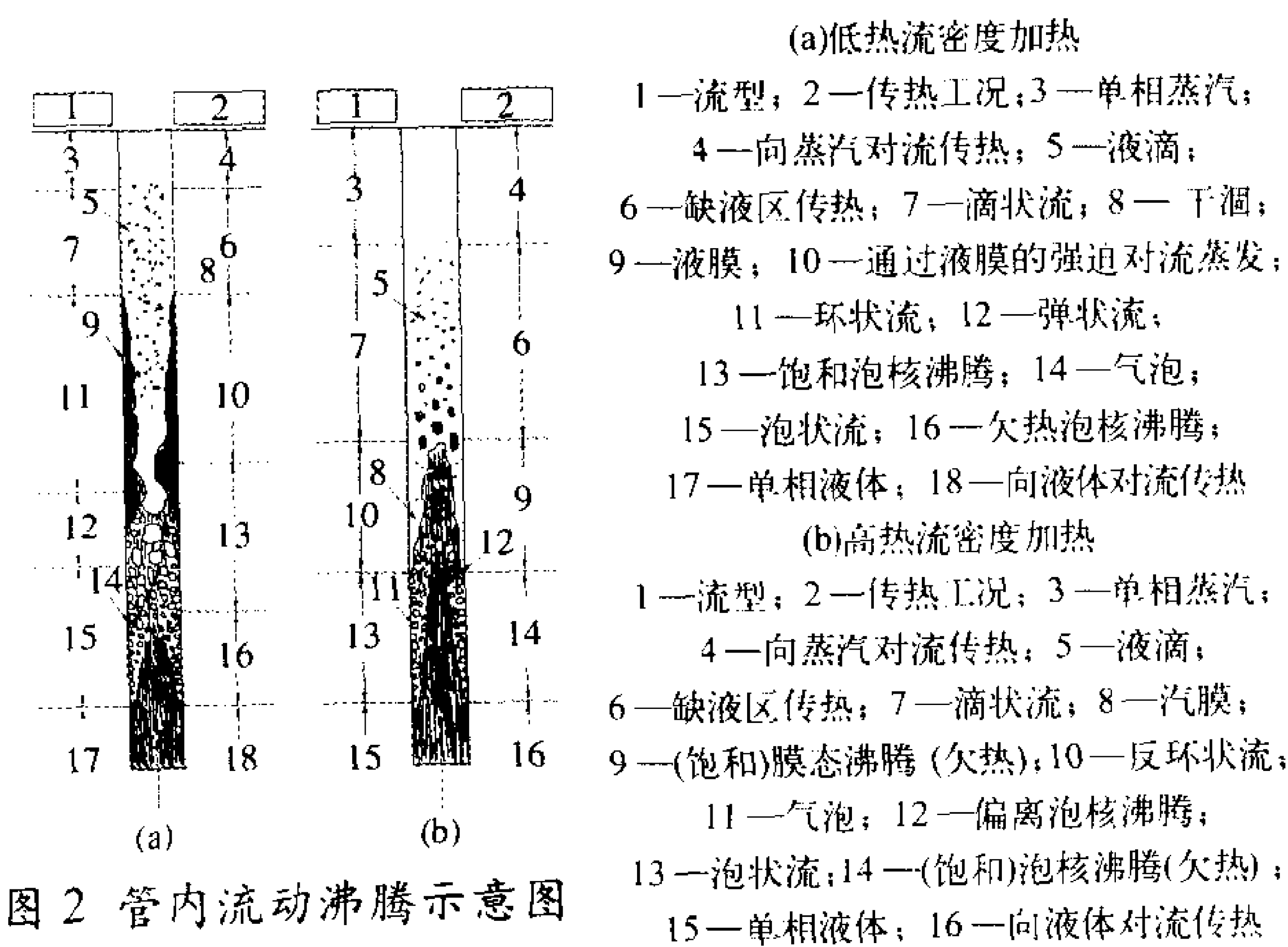


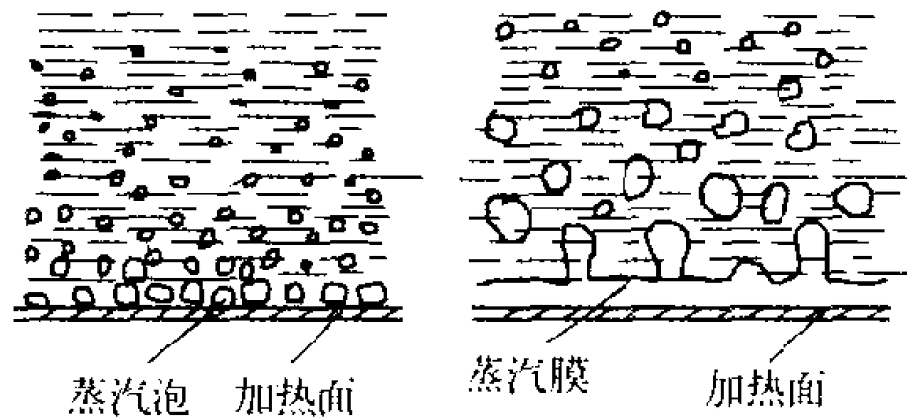
图2　管内流动沸腾示意图

(a)低热流密度加热

1—流型；2—传热工况；3—单相蒸汽；4—向蒸汽对流传热；5—液滴；6—缺液区传热；7—滴状流；8—干涸；9—液膜；10—通过液膜的强迫对流蒸发；11—环状流；12—弹状流；13—饱和泡核沸腾；14—气泡；15—泡状流；16—欠热泡核沸腾；17—单相液体；18—向液体对流传热

(b)高热流密度加热

1—流型；2—传热工况；3—单相蒸汽；4—向蒸汽对流传热；5—液滴；6—缺液区传热；7—滴状流；8—汽膜；9—(饱和)膜态沸腾(欠热)；10—反环状流；11—气泡；12—偏离泡核沸腾；13—泡状流；14—(饱和)泡核沸腾(欠热)；15—单相液体；16—向液体对流传热



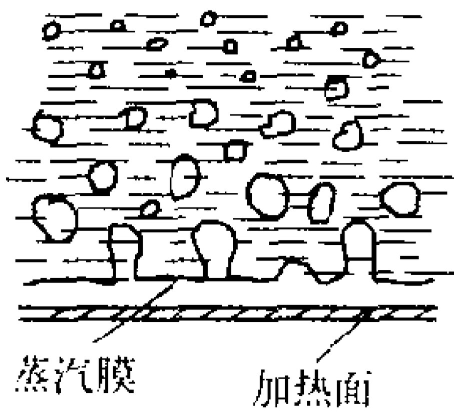
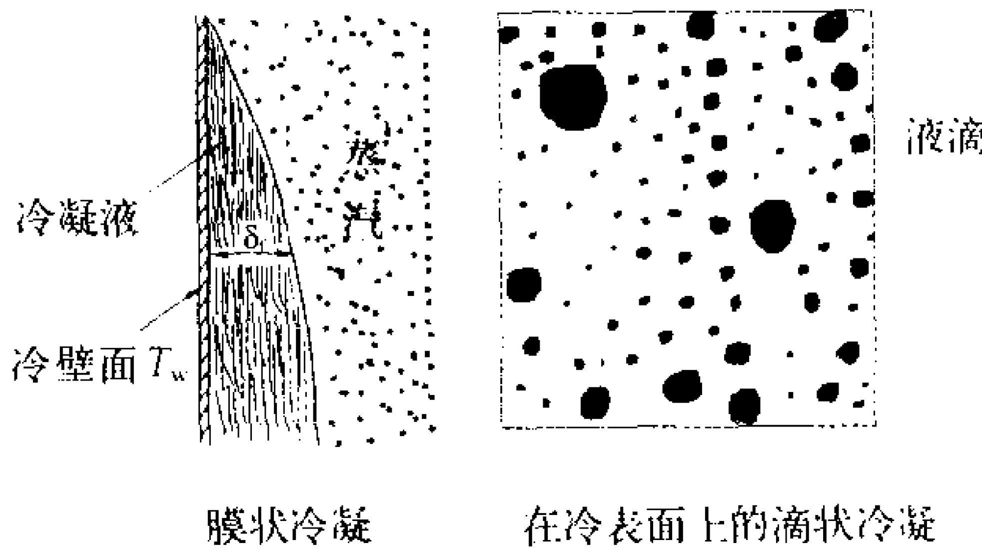


图3　泡核沸腾　　图4　膜态沸腾

lengqueji shuilengning

冷却剂水冷凝　condensation of coolant water　水蒸气被冷却而变成水的过程。当水蒸气被冷却到低于饱和温度引起小水滴泡化时，就发生冷凝。小水滴泡化可以均匀地在水蒸气内部发生，也可以不均匀地在冷却壁面上发生。后一种情况有两种形式的不均匀冷凝，即膜状冷凝和滴状冷凝。膜状冷凝发生在易于润湿的冷表面；滴状冷凝发生在不易润湿的冷表面上(见图)。冷凝液构成了从蒸汽到表面的主要热阻，膜状冷凝的热阻要比滴状冷凝的大，因而其传热系数要比滴状冷凝的小。

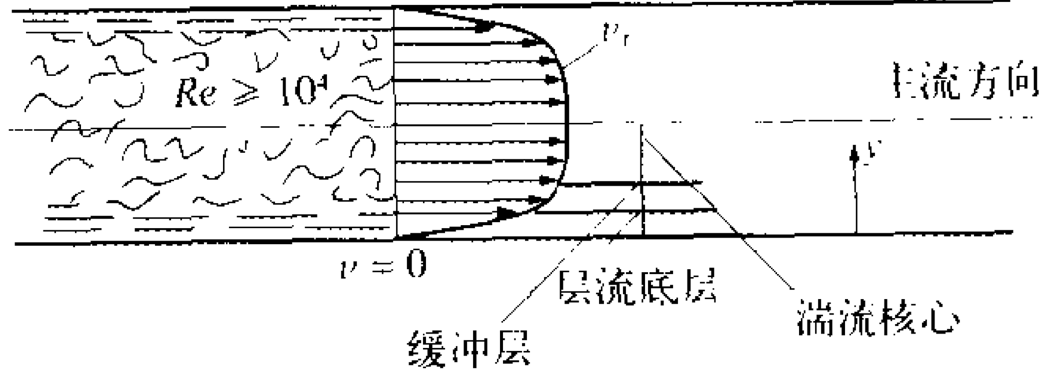


膜状冷凝和滴状冷凝示意图

(撰写：郝老迷　审订：陈玉宙)

lengqueji tuanliu

冷却剂湍流　turbulent flow of coolant　冷却剂质点在与流道壁面平行流动的同时还存在着横向速度脉动，即流体微团还作无规则湍动的流动状态(见图)。雷诺数$Re \geq 10^4$的流态为管内湍流。　(撰写：郝老迷　审订：陈玉宙)



冷却剂湍流原理示意图

lengqueji yali bianjie xielou tance

冷却剂压力边界泄漏探测　coolant leakage measurement at pressure boundary　对从核反应堆冷却剂系统流失的冷却剂数量的探测。以压水堆核电厂为例，冷却剂压力边界的泄漏可分为可探测的和不可探测的两部分。对压力容器密封环的

泄漏探测属前者，从密封环专门引出管路通至储水水柱，可通过测量水柱的高度来计算密封环的泄漏率，而用微型涡轮流量计和声发射探漏法是目前更先进的技术。不可探测的泄漏可通过测量安全壳地坑水位来计算出。

（撰写：赵善德　审订：孙玉发）

lengshiyan

冷实验　cold test　用非放射性物料或天然放射性物料代替强放射性物料对某种方法、过程、仪器和设备进行的实验。冷实验是放射性实验的一个初步环节。如在乏燃料后处理的各个阶段（包括实验室研究、台架规模考验和工厂试运行）的实验中，只用 U（或 Th）和 HNO_3，不引入 Pu 和裂变产物所进行的实验属于冷实验。通过冷实验，可以取得一些必要的数据，摸清一些规律，为进一步实验做准备。

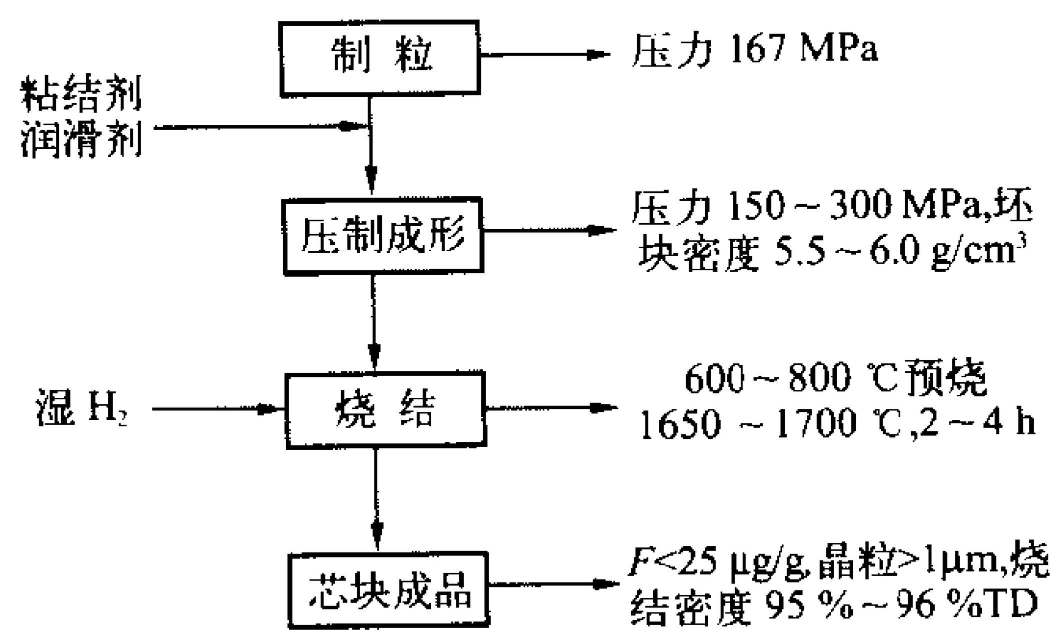
（撰写：章泽甫　审订：朱永赡）

lengtingdui

冷停堆　cool shutdown　反应堆处于次临界并有足够停堆深度，反应堆冷却剂已冷却到接近环境温度的停堆状态。按反应堆冷却剂系统开启和水位状态的不同和停堆深度的差别，通常又把冷停堆划分为正常冷停堆、维修冷停堆和换料冷停堆三种状态。　（撰写：宫广臣　审订：钱锦辉）

lengya shaojie gongyi

冷压烧结工艺　cold press and sintering process　在陶瓷核燃料（如 UO_2）的生产中，由粉末加工成块体成品的重要工序。将制备好的粉末加工成一定形状和尺寸的生坯块，使之具有



生产 UO_2 芯块的冷压烧结工艺流程

一定的密度和强度，谓之成形。最普遍采用的成形方法就是冷压，即使用自动压片机双向压制成形。其主要操作包括装模、压制、脱模和推走坯块四步。在压制中，粉末体内孔隙减少，粉末颗粒间的接触面积增大，从而产生致密化。烧结是关键工序，烧结温度控制在粉末材料的熔点以下。在该过程中，烧结体中孔隙收缩、闭合、晶粒长大，获得所需的物理、力学性能。通常烧结是在带保护气氛的高温炉中进行的。生产 UO_2 芯块的典型冷压烧结工艺如图所示。

（撰写：李文埃　审订：张忠岳）

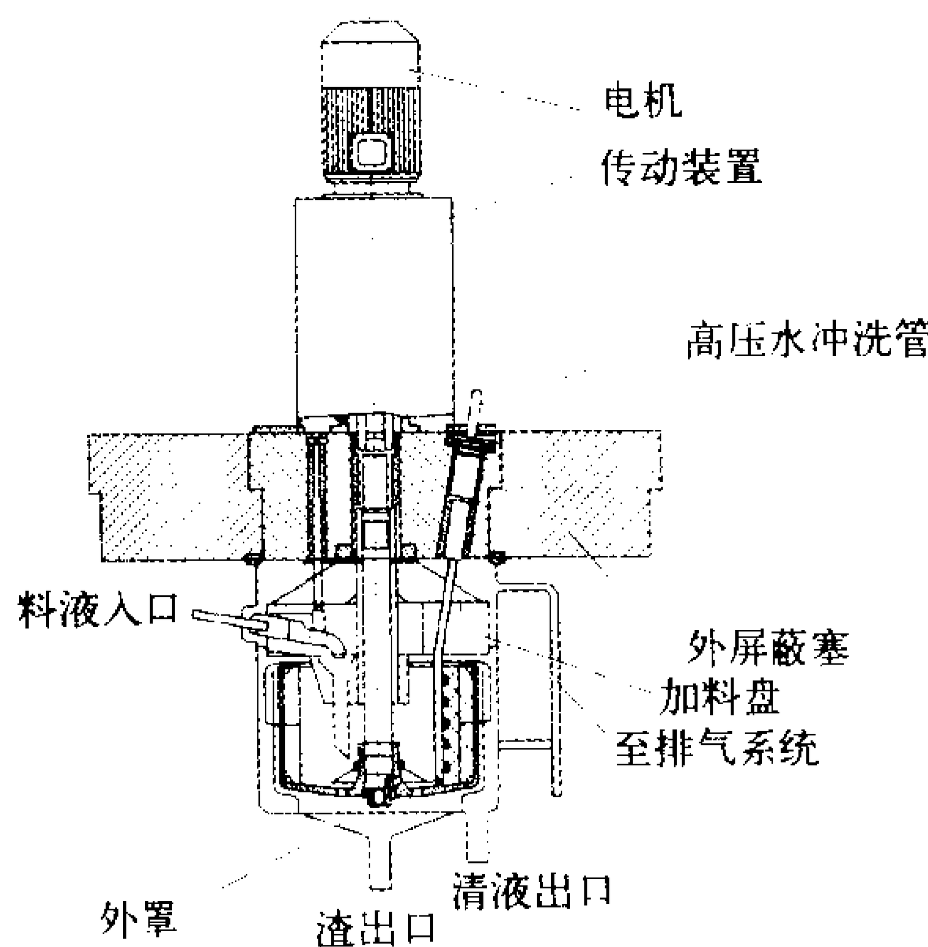
lengzhongzi

冷中子　cold neutron　动能为 meV 量级或更低量级的中子。冷中子的波动性明显，德布罗意波波长比热中子的长，如动能为 10^{-4} eV 的中子的波长为 2.9 nm。其散射特性更适合研究凝聚态的亚微结构及激发，特别是高分子化合物和生物大分子。在常温慢化剂的反应堆热中子谱中冷中子只占 2%。为获得高强度冷中子，目前采用的有效方法是在反应堆的反射层中安装充有低温的慢化剂，如液氢的容器，用以降低局部区域中子的温度，称为“冷源”。冷中子技术的发展为核物理和凝聚态物理等基础学科的研究提供了非常有利的条件。

（撰写：李景文　审订：丁大钊）

lixin chengqingji

离心澄清机　centrifugal clarifier　又称沉降式离心机。核燃料后处理工厂中为保证后续萃取单元操作的运行稳定性，借液、固两相在高速回转转鼓中的离心沉降速度不同而分离去除溶解料液中固体颗粒物的机器（见图）。离心分离因数为 1100～2000。转鼓形式有鼓底在上的倒杯形和鼓底在下的正杯形两种。



离心澄清机示意图

倒杯形转鼓排渣顺畅。商用后处理厂多用正杯形转鼓。机器布置是将转鼓装在设备室顶板下，电机装在非放射性区，用穿楼板轴系连接电机与转鼓。排渣时停止进料，待转鼓转速降至运行转速的 1/100 左右，用高压水冲洗排渣。当轴系或设备室内部件发生故障时，用专用 α 密封屏蔽检修装置实施拆装和将机器转送检修。　（撰写：左　民　审订：郑华铃）

lixin cuiququi

离心萃取器　centrifugal extractor　一种借助离心力使两相迅速混合和分离的高效快速的液—液萃取设备。单级离心萃取器通常由旋转的转鼓和静止的外壳组成。两相并流进入混合室，在旋转搅拌作用下被粉碎并充分混合，然后被吸入转鼓内，在离心力作用下，实现两相分离，重相甩向外侧，轻相留在内侧，在轻重相堰阻挡下，两相分别由各自的出口排出。单级离心萃取器可串联起来组成多级逆流萃取装置。多级离心萃取器则是在一个转鼓内有多个串联的萃取级。离心萃取器中料液停留时间短，溶剂辐照损伤轻；生产能力大；设备紧凑，易于保证核临界安全；达到稳态快，易于启动和停车。但加工安装精度要求严格，有易损的高速转动部件，固体污物易在其内积存，设备费和维修费较高。离心萃取器除工业应用外，微型离心萃取器是实验室研究萃取流程的优良设备。

（撰写：吴秋林　审订：林漳基）

lixin fenli gongchang

离心分离工厂　centrifuge separation plant　又称离心浓缩工厂。用气体离心机生产浓缩铀的商业工厂。离心分离工厂的主要特点是：节省电力，比能耗仅是扩散工厂的百分之几；经济性好，在国际浓缩铀市场上有竞争能力；生产能力

可以随着新型离心机研制成功而分阶段地增加，分离能力一般在千吨分离功／年左右；可靠性高，国际上已运行的离心工厂一般使用寿命大于10 a (有的已达15 a以上)，使用寿命期间的离心机失效率小于1%/a (有的已达0.2%/a以下)。

（撰写：张作风　审订：刘广钧）

lixinji de gongliao he quliao

离心机的供料和取料　feed and withdrawals of a gas centrifuge　向离心分离工厂的离心机中输入欲被分离的工作气体称为离心机的供料，从离心机中取出轻馏分和重馏分为取料。要对高速旋转的气体离心机进行连续的供料和取料是很困难的。在气体离心机发展早期曾经使用过不同的供、取料方式。如管轴式离心机通过张紧的管轴进行供、取料，而密封装置为迷宫式的动密封；又如通过离心机转子端盖打孔的方式取料等。目前世界上工业规模的离心机的供、取料系统都是采用静止支臂取料，在中心区域供料的方法。

（撰写：应纯同　审订：刘广钧）

lixinji de zuida lilun fenli gonglü

离心机的最大理论分离功率　theoretical maximum separative power of a gas centrifuge　气体离心机所能提供的理论上最大分离功率。分离功率是反映分离能力的特征量。对于气体离心机，根据Cohen理论，离心机最大理论分离功率为

$$\delta U_{\max}=\frac{\pi}{2}\rho D\left(\frac{(M_2-M_1)(\Omega r_a)^2}{2RT}\right)^2 Z$$

式中 ρ 为气体的密度；D 为气体的扩散系数；M_1 和 M_2 分别是被分离的同位素的摩尔质量；一般 M_1 是轻同位素的摩尔质量；M_2 是重同位素的摩尔质量；Ω 是离心机的旋转角速度；r_a 是离心机转筒的内半径；R 是气体普适常数；T 是气体的温度；Z 是离心机的有效长度。$\delta U_{\max}$ 和离心机的长度成正比，正比于离心机转子线速度的4次方，与温度的平方成反比。

（撰写：应纯同　审订：刘广钧）

lixinji huanliu qudong

离心机环流驱动　drives of circulation in gas centrifuge　造成气体离心机中轴向分离倍增效应所需环流的驱动方式。由于离心机中径向分离系数一般较小，用环流可以使分离在轴向得到倍增效应，有时可以增加几倍、十几倍甚至更高。造成环流的驱动可以分为外部驱动和内部驱动。外部驱动可以由特殊的泵进行。一般将内部驱动分成以下几类：(1) 端盖热驱动；(2) 侧壁热驱动；(3) 机械驱动；(4) 供取料驱动。不同的驱动产生环流的流型一般是不同的。从流型效率看，侧壁热驱动的环流过于贴近侧壁，效率较低，端盖热驱动和机械驱动的效率比较高。实际离心机中各种驱动都存在。如果变化离心机的参数使各种驱动能形成最佳组合，可以得到离心机的最佳分离效果。　（撰写：应纯同　审订：刘广钧）

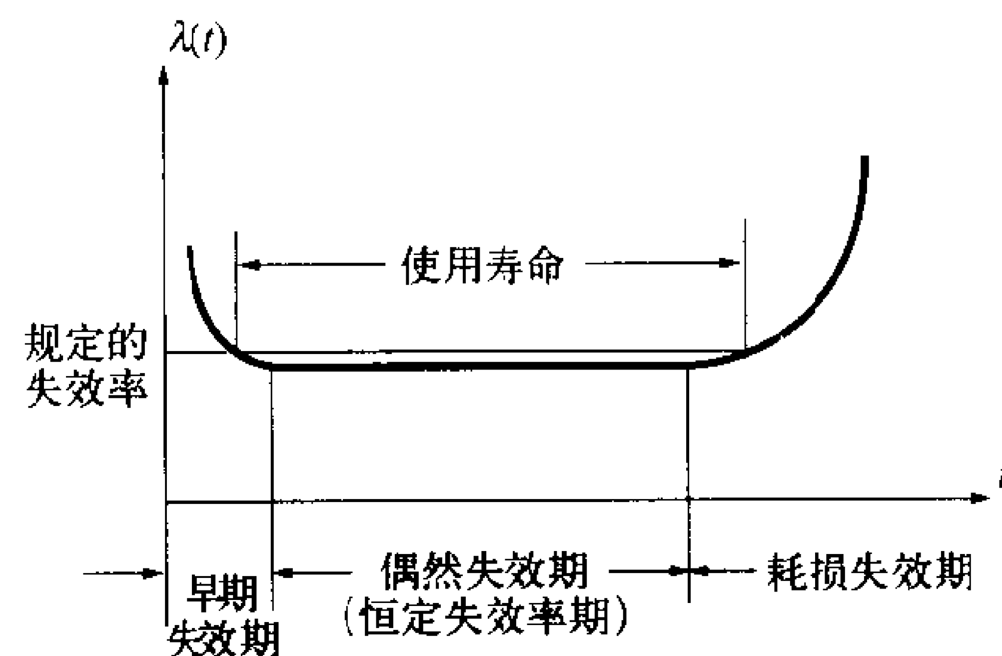
lixinji liuchang

离心机流场　flow field in gas centrifuge　被分离介质在气体离心机中的速度分布。为了了解离心机的分离规律必须求解离心机丰度方程。而欲求解丰度方程，离心机中分离介质在各处的速度分布必须给定。现代气体离心机的转速很高，离心机中气体的径向密度的变化非常剧烈。由于转速很高，离心机侧壁处的雷诺数可高达 $10^8\sim10^{10}$。另外，由于很强离心力场的存在，必须考虑Coriolis力。因而离心机流场的求解有很大的难度。实验上很难测定流场，流场的确定主要依靠理论分析。可以分为两个方面：数值求解和解析求解。数值求解一般是从Navier-Stocks方程出发，经线性化处理后用有限差分或有限元法求解。对供、取料，根据具体情况设定合适的模型和边界条件。解析解法有边界层法和pancake模型法。以pancake模型法为例，此法从气体动力学方程出发，最后得到主势函数的六阶偏微分方程。再通过本征函数展开法求解。得到主势函数即求得了速度分布。求解时将供、取料作为源或汇来处理。这两类解法各有特点。解析解法以其直观性强和物理图像清晰为其特点，但由于假设比较多，有些复杂问题难于求解。数值解法的优点在于可以考虑一些复杂因素的影响，还可以进行非线性问题的求解。但有时要显示一些规律性的结果比较困难，另外相对于解析解法计算机时要长。

（撰写：应纯同　审订：刘广钧）

lixinji shixiaolü

离心机失效率　centrifuge failure rate　离心分离工厂中，在规定条件下工作到某时刻尚未失效的机器，在该时刻后单位时间内发生失效的概率。离心机失效率是有关离心机寿命可靠性的基本参数之一。失效率是时间的函数。离心机失效率



典型的离心机失效率曲线

的单位一般用%/a表示。一般说来，离心机失效率 $\lambda(t)$ 随时间的变化如图所示，称为浴盆曲线。失效率 $\lambda(t)$ 随时间的变化大致可划分为三个阶段：(1) 早期失效期：失效率明显高于随后期间的失效率，且随时间增加迅速下降；(2) 偶然失效期：失效原因主要由偶然因素造成。偶然失效期的失效率低而且稳定，近似为常数，又叫做恒定失效期。这段时期基本上就是使用寿命期；(3) 耗损失效期：寿命后期一段时间，失效率随时间增加而迅速上升。

（撰写：张作风　审订：刘广钧）

lixinji zhuanyong bianpin dianyuan

离心机专用变频电源　variable frequency power for special purpose of centrifuge　离心分离工厂中离心机专用的拖动电源设备。气体离心机在额定转速运行时要求拖动电源输出相应的额定频率，因此把工业交流电源变成适用于离心机拖动的电源称为离心机专用变频电源。离心分离工厂中成千上万台高速旋转的三相交流电机并联运行，决定了该电源的特点：输出频率要高度稳定，输出电压失真度要低。离心机专用变频电源有别于普通的工业变频电源，需要进行专门研制。

（撰写：张作风　审订：刘广钧）

lixinji zhuantong

离心机转筒　rotating cylinder of gas centrifuge　气体离心机

中的旋转圆筒。它是产生分离作用的最关键的部件。分离介质被转筒带动而高速旋转，在离心力作用下不同质量的同位素产生了分离。离心机转筒的圆周线速度取决于转筒所用的材料。离心机的转速除了与所用材料有关外，还和所选的转筒的直径有关。现代气体离心机的转速为几百到千余转每秒。转筒可以是等直薄壁圆筒，也可以是由波纹管连接的薄壁圆筒。离心机长度的确定和所用材料有关，还和离心机是超临界还是亚临界有关。离心机转筒的长度从几百毫米到十几米。由于离心机在高速下旋转，为了减少摩擦必须在真空套筒中运行。（撰写：应纯同　审订：刘广钧）

lixinji zhuanzi cailiao

离心机转子材料　centrifuge rotor material　用于制造气体离心机转子的材料。离心机最大理论分离功率与转子线速度的四次方成正比，与转子长度的一次方成正比。离心机转子单节转筒长度由转筒一阶弯曲频率确定。

转子最大线速度

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}}$$

转筒一阶弯曲频率

$$f_1 \propto \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

式中 σ 为材料的拉伸强度；E 为材料的弹性模量；ρ 为材料的密度；$\frac{\sigma}{\rho}$ 为材料的比强度；$\frac{E}{\rho}$ 为材料的比模量。因此，为了提高转子线速度、增加转子单节转筒长度，选用高比强度、高比模量的材料来制造转子，就成为气体离心机转子设计的重要原则之一。当然，还要考虑材料对工作气体（UF_6）的抗腐蚀性、加工性能、价格等因素。离心机转子材料经历了由金属材料向复合材料发展的过程。可用于制造离心机转子的金属材料有铝合金、钛合金、高强度钢、马氏体钢等；复合材料有玻璃纤维树脂、碳纤维树脂、KEVLAR 尼龙树脂等。

（撰写：张作风　审订：刘广钧）

lixinji zhuanzi donglixue

离心机转子动力学　centrifuge rotor dynamics　研究气体离心机转子—支承—阻尼系统（简称转子系统）在旋转（特别是高速旋转）状态下的振动（主要是横向振动）的一门学科。气体离心机转子系统的横向振动特性对其长期安全有效的运行具有特别重要的意义。横向振动振幅过大、或出现异步进动失稳现象而引起机器损坏，是离心机运行的重要失效模式。离心机转子动力学的主要研究范畴是：转子系统主振型和临界转速计算；转子系统的稳定性及失稳机理的研究；转子动平衡技术；转子系统的动力学参数匹配和优化设计等。主振型和临界转速计算、系统稳定性研究、动力学参数选择是转子设计的重要部分，转子动平衡技术也十分重要。常用的计算方法有两种：一是列出整个转子系统的拉格朗日微分方程组、包括齐次和非齐次方程组，分别用于自由振动和强迫振动分析；二是传递矩阵法。后者由于具有解法简洁、易于编程和掌握的优点，在转子系统振动特性分析中应用越来越广泛、发展也最为完善。（撰写：张作风　审订：刘广钧）

lixinji zuni zhuangzhi

离心机阻尼装置　centrifuge damping device　又称离心机阻尼器。通过阻尼件的运动以减弱气体离心机转子振动或进动的装置。阻尼件在油液中作周期性的摆动或平动时，利用油液被挤压后的压力分布和粘滞作用可以耗散转子振动能量，减弱转子的冲击、振动幅度，并抑制、消除转子的进动。离心机阻尼装置可分为挤压油膜阻尼装置和摩擦阻尼装置两种。油液阻尼装置产生的阻尼力近似于粘性阻尼性质。阻尼力 f_d 的大小与阻尼件运动速度 v 成正比，而方向相反：$f_d = -cv$。式中 c 为阻尼系数。正是由于阻尼装置产生了阻尼力而耗散转子振动能量，因而对转子稳定性起着较好的作用。

（撰写：张作风　审订：刘广钧）

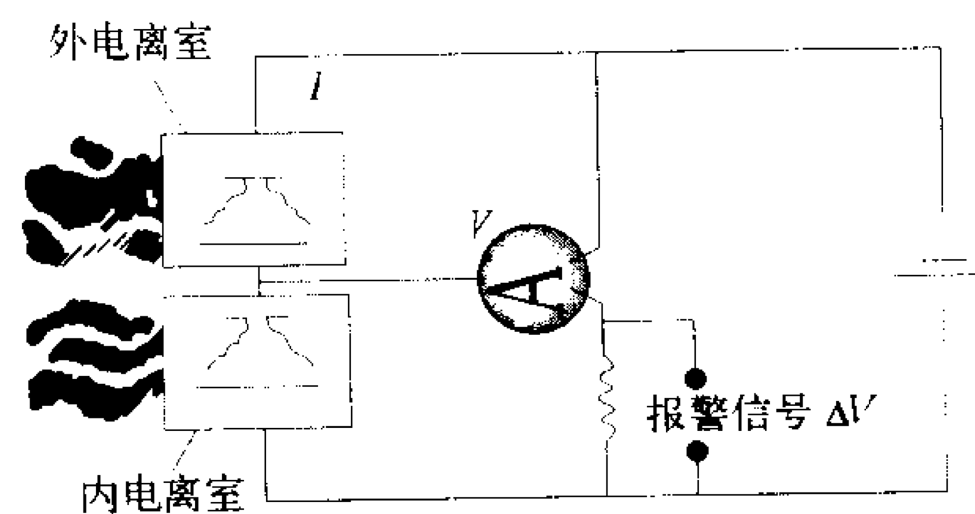
lizibeng

离子泵　ion pump　同时存在蒸发或溅射的金属吸气剂沉积和由电场或电磁场电离气体机制而产生吸附、溶解和离子掩埋等作用以捕集气体分子的真空泵。用加热或电子轰击加热蒸发或升华金属吸气剂（通常为钛），同时加入电子热发射的电离气体机制进行抽气的真空泵，又称蒸发离子泵或吸气剂离子泵。通常在壳体内以两平行钛板为阴极，其间轴线垂直地放置一个多筒形组合的阳极，且壳体外设置恒磁轴向磁场，构成溅射离子泵。溅射离子泵在压强低于 0.013 Pa 以下、阳极与阴极间加上数千伏电位差时便产生潘宁放电。电子在电场与磁场作用下在阳极的各筒形空间作螺旋运动，具有长的碰撞气体分子的电离路径，电离的带正电的气体离子以高的动量撞击阴极，溅射出新鲜的钛原子并沉积于阳极筒壁和壳体内壁，构成吸附层，起主要抽气作用。氢气在阴极中扩散和溶解，惰性气体则由在阴极的离子掩埋而被抽除。现代真空技术中，离子泵通常是指潘宁放电型冷阴极的溅射离子泵。

（撰写：陈文奎　审订：关遐令）

lizi ganyan baojingqi

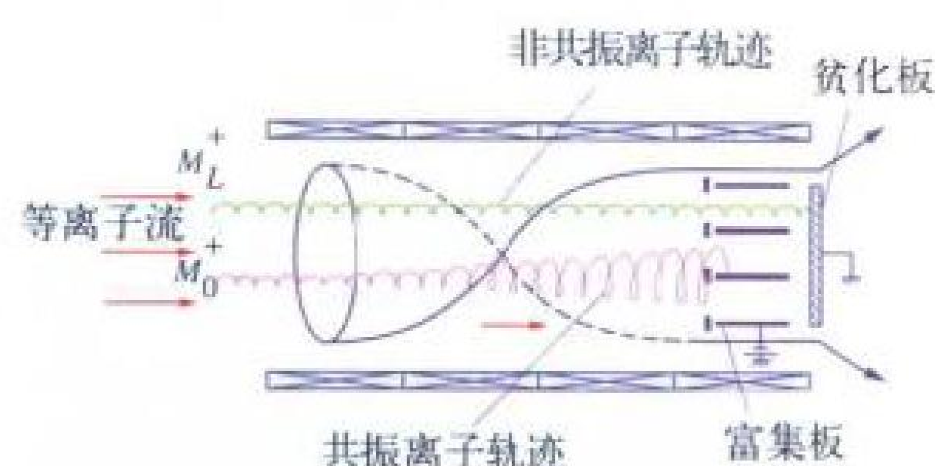
离子感烟报警器　ionization smoke alarm　利用射线电离空气产生的电子被烟雾吸着而导致电离电流降低的原理而制成的火灾报警装置（见图）。这一装置的探头是由两个分别装有α放射源（如 ^{241}Am 源）的电离室组成，其中一个电离室密封，另一个则与大气相通，两者并联接成差动式。当空气中存在烟雾时，两电离室即出现输出电流不平衡，及时反映出火灾隐患信息。目前离子感烟报警器已成为宾馆、礼堂、仓库等公共设施和高层建筑普遍采用的防火设施，并日益走入家庭。（撰写：吕延晓　审订：张培信）



离子感烟报警器工作原理示意图

lizi huixuan gongzhenfa

离子回旋共振法　ion cyclotron resonance process　在外加特定频率的电场作用下，一定质量的离子产生回旋共振与其他非共振的离子互相分离的同位素分离过程。离子回旋共振分离装置如图所示。装置的工作区域存在磁场 B。离子源产生需分离元素的离子，其中包括不同质量同位素的离子。在外加特定频率的横向高频电场作用下，一定质量的离子产生共振（M_0^+），与非共振的其他质量的离子（M_L^-）不发生共振被收集在贫化板上不同，将被收集于富集板上。离子回旋共振法通用性强，能耗比电磁分离法少，然而比气体离心法仍然高很多。离子回



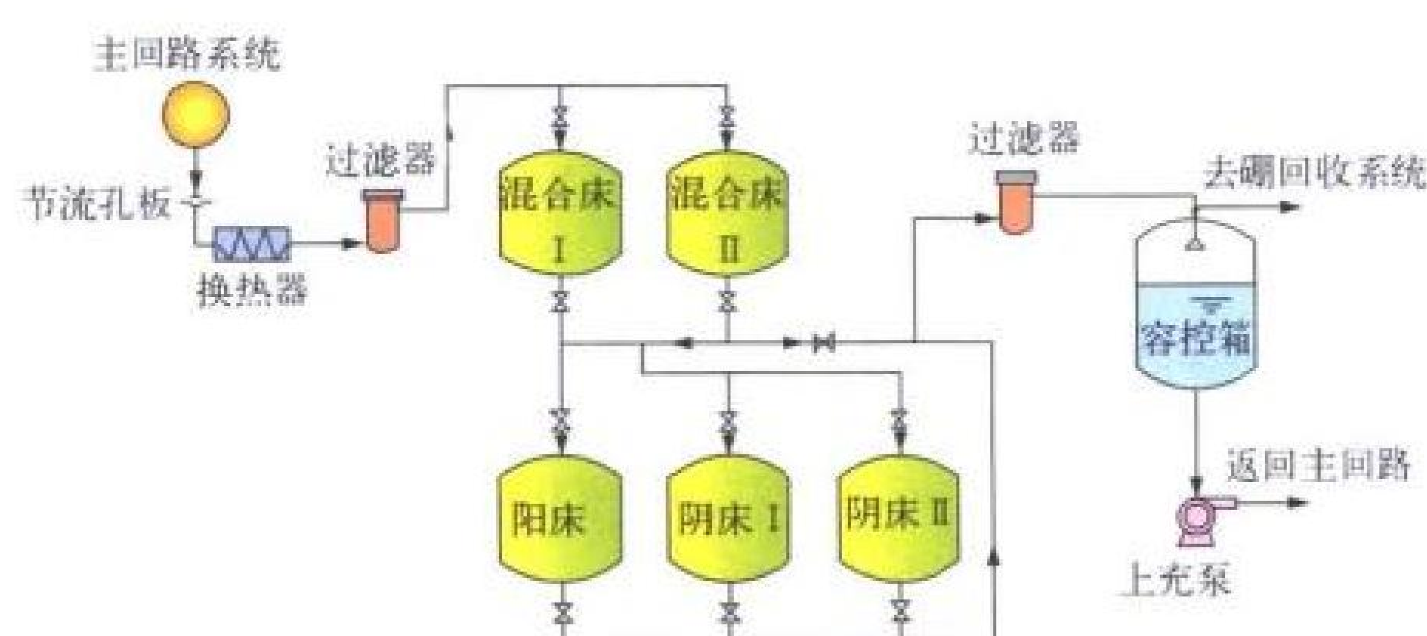
离子回旋共振分离装置示意图

旋共振法已经分离了十余种元素的同位素。

（撰写：应纯同　审订：刘广钧）

lizi jiaohuan

离子交换　ion exchange　借助离子交换剂上的可交换离子(活性基团)和溶液中的离子进行交换以除去溶液中部分离子的化学分离过程。离子交换广泛用于分离和纯化过程，是放射性废液净化和核素分离的常用方法。离子交换剂可分为有机离子交换剂(如离子交换树脂)和无机离子交换剂(如蛭石、沸石等)。由于吸附放射性核素和其他非放射性离子而失效了的树脂可再生复用或作为废物进行固化处理。因为放射性离子和非放射性离子都消耗交换剂的容量，所以离子交换法通常只适用于处理低含盐量废液，它常与蒸发法或膜分离法联



离子交换法净化反应堆一回路冷却剂的原理图

合使用。离子交换的去污因数随废液特性和交换剂的类型而差别较大，一般为 10～100。廉价的、高选择吸附性的无机离子交换剂，如沸石和蛭石适用于处理含 ^{137}Cs 和 ^{90}Sr 的低放废液。核电厂的冷却剂多用离子交换树脂处理。离子交换通常用柱式固定床(阳床、阴床和混合床)间歇操作或柱式移动床连续操作。离子交换剂的品种很多，常用强酸性和强碱性树脂。新开发的、用于分离过程的离子交换剂有特效活性基团交换剂、磁性交换剂、两性交换剂、热再生交换剂、分子筛交换剂、液体交换剂和离子交换纤维等。

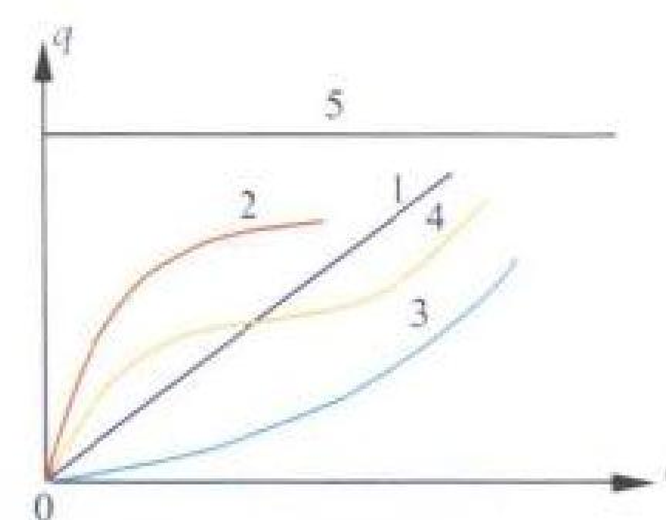
（撰写：骆大星　审订：孙明生）

lizi jiaohuan chunhua bu

离子交换纯化钚　purification of plutonium by ion exchange　采用离子交换分离的方法对钚进行纯化的过程。在钚的生产上曾使用阳离子交换法和阴离子交换法对钚进行纯化。其基本原理是利用钚和杂质元素在离子交换树脂上有着不同的亲和力，当含钚和杂质元素的溶液通过离子交换树脂柱时，其一留于树脂柱上，另一则通过树脂柱从而实现分离。具体地说，当含 Pu (Ⅳ) 及杂质元素的稀硝酸溶液通过阳离子交换树脂柱时，Pu (Ⅳ) 由于其亲和力大而滞留于树脂层上，而杂质元素则通过树脂层从而达到分离。而当含 Pu (Ⅳ) 及杂质元素的浓硝酸溶液通过阴离子交换树脂柱时，Pu (Ⅳ) 的硝酸根络合阴离子也因亲和力大而滞留于树脂层上而杂质元素则通过树脂层从而达到分离。　（撰写：林漳基　审订：朱永赌）

lizi jiaohuan dengwenxian

离子交换等温线　ion exchange isotherm　又称平衡曲线。表征等温下离子交换平衡特性的曲线。由固定温度下所给定的离子交换体系在平衡时溶液中 A 离子浓度 c 与其对应的树脂容量 q 作图而得，是常用的研究离子交换平衡的基本方法。如图所示，曲线 1 表示所研究的树脂对交换体系中 A 与 B (原先在树脂上) 两种离子无选择性，即对它们的吸附性能相同；曲线 2 表示有利的平衡，即在整个浓度范围内该树脂总是优先吸附 A 离子；曲线 3 表示不利的平衡，即该树脂对 B 离子优先吸附；S 形曲线 4 为双功能基团树脂的特征；曲线 5 表示特殊的不可逆平衡，即发生树脂中毒。具有实用价值的树脂吸附铀等特定离子的 $c-q$ 曲线应为曲线 2 形。



离子交换等温线图

（撰写：许根福　审订：关自斌）

lizi jiaohuanmo

离子交换膜　ion exchange membrane　含离子基团的、对溶液里的离子具有选择透过能力的高分子膜。因为一般在应用时主要是利用它的离子选择透过性，所以也称为离子选择透过性膜。按功能和结构的不同，可分为阳离子交换膜、阴离子交换膜、两性交换膜、镶嵌离子交换膜、聚电解质复合物膜五种类型。按加工制备的方法不同可分为均相膜和非均相膜两类。离子交换膜可装配成电渗析器而用于苦咸水的淡化和盐溶液的浓缩，在核工业中可用于放射性废水的处理等。

（撰写：朱秀昌　修订：郭景儒　审订：崔安智）

lizi jiaohuan pingheng

离子交换平衡　ion exchange equilibrium　在一定条件下，溶液中被交换离子与离子交换树脂中可交换离子之间发生离子交换反应最终达到的相对平衡状态。把质量作用定律应用于离子交换平衡，可获得交换平衡常数 $k_{A,B}$，称为选择性系数或相对亲合系数。对于反应

$$|a|B_R^b + |b|A_s^a \rightleftharpoons |b|A_R^a + |a|B_s^b$$



$$k_{A,B} = q_A^{|b|} \cdot c_B^{|a|} / q_B^{|a|} \cdot c_A^{|b|}$$

式中 A, B 表示任意的两种交换离子，下标 R 表示在树脂内，下标 s 表示在溶液中，a,b 及 $|a|$，$|b|$ 分别表示 A，B 离子的电荷数及其绝对值；q_A，q_B 及 c_A，c_B 分别表示 A，B 离子在树脂上的容量和溶液中的浓度。$k_{A,B}$ > 1 表示树脂对 A 离子的选择性大于 B 离子；反之，$k_{A,B}$ < 1 表示树脂对 B 离子的选择性大于 A 离子；$k_{A,B}$= 1 表示树脂对 A，B 两离子的吸附能力相同。该值仅在稀溶液中才近似为常数。

（撰写：许根福　审订：关自斌）

lizi jiaohuan sepufa fenli tongweisu

离子交换色谱法分离同位素　isotope separation by ion exchange chromatography　化学交换法分离同位素的一种。同位素交换在离子交换树脂固相 (s) 和水溶液相 (aq) 之间进行



$$AX_{(aq)} + BX^*_{(s)} \rightleftharpoons AX^*_{(aq)} + BX_{(s)}$$

$$\alpha = \frac{[BX]/[BX^*]}{[AX]/[AX^*]}$$

同位素X和X^*在树脂固相中是BX化合物，在水相中是AX化合物。此法分离同位素的优点是：能耗低、设备简单、比分离能力大；缺点是一级分离系数小、平衡时间长、交换速度慢。近年来该法用于铀和锂同位素的分离研究引人关注，特别是用于铀同位素分离的氧化还原催化剂及高效离子交换树脂的研制，以及用于锂同位素分离的穴醚树脂的研制，均取得了一定的进展。（撰写：李以圭　审订：朱永赌）

lizi jiaohuan shuzhi

离子交换树脂　ion exchange resin　能同溶液中的离子进行交换作用的带有功能基团（又称活性基团、官能团）的、三维交联的网状结构不溶性高分子有机化合物（聚电解质）。它由惰性骨架、固定于骨架上的功能基团及可交换离子三部分构成。工业用的常规离子交换树脂的粒度为0.35～1.2 mm，对其基本要求是：交换容量高且速度快，选择性好且解吸及再生容易，对化学、热、机械和辐照的稳定性好，溶胀度小等；另外，制备用原料易获得且成本适宜。提铀工业中常用阴离子交换树脂，其中绝大部分是以苯乙烯—二乙烯苯共聚物为骨架的强碱性季铵树脂［$R\text{-}N^+(CH_3)_3X^-$，R表示骨架，X^-为可交换离子］，经常使用的是凝胶型；近年来大孔型也有较多使用。从硫酸浸出液中提取铀时，也可采用选择性更好的大孔型弱碱性［主要为叔胺基团 $-N(CH_3)_2$］树脂。

（撰写：许根福　审订：关自斌）

lizishu fenxi

离子束分析　ion beam analysis　应用离子束对物质元素成分含量及其分布进行测定的核分析技术。具有一定能量的带电粒子与靶物质中原子的电子或核相互作用而产生的各种效应，如激发X射线发射、大角度弹性散射（即背散射）和诱发核反应、单晶中的沟道效应和阻塞效应等都可用于分析目的。目前，离子束分析主要包括质子激发X射线荧光分析、背散射分析、核反应分析、沟道效应和阻塞效应分析技术等。离子束分析的关键设备是能给出能量在几兆电子伏量级的p，d，^4He离子束的小型静电加速器（包括小型串列加速器）、核探测装置以及数据处理系统。自从20世纪60年代离子束用于靶物质中杂质成分的测定以来，在技术上已取得了很大的进展，目前已广泛用于材料科学研究中的杂质元素含量测定、深度分布分析、杂质原子定位和材料结构研究等。在生物、医学、环境、矿物、考古等领域用于痕量元素的分析。

（撰写：张士琛　审订：吕延晓）

lizishu guanxing yueshu jubian

离子束惯性约束聚变　inertial confinement fusion driven by ion beams　利用轻离子束或重离子束驱动的惯性约束聚变。轻离子主要是质子或锂离子；重离子主要是氙、铯或铋离子。采用脉冲功率技术产生10～30 MV脉冲高压驱动离子二极管获得数MA强流轻离子束；采用高能感应加速器或射频加速器产生1～10 GeV、束流为100 kA量级重离子束。轻、重离子束的关键技术是离子束的传输和聚焦。由于离子束驱动器具有高效率（大于20%）并且离子束在靶中能量沉积大、成本低、可重复频率运行，因而被认为是产生聚变能的有希望的方法。（撰写：单玉生　审订：杨大为）

lizishu jiagong jishu

离子束加工技术　plasma ion beam manufacturing technology　离子束加工利用的能区：十至数百电子伏的离子束以沉积为主，1～5 keV的离子束主要用于刻蚀，10 keV～1 MeV的离子束多用作注入，1～30 MeV的离子束用作核反应。离子束加工技术同时具有改变表面结构和改善表面成分的两类常规加工方法的功能而无须分别进行。

离子束加工过程可分为：(1) 直接注入。材料表面形成饱和固溶态、亚稳态合金和新化合物，达到表面改性；(2) 离子束混合。预先沉积的薄膜受离子束轰击造成注入原子、膜原子和基材原子混合，形成合金与新化合物，增强薄膜与基材的粘合；(3) 离子束表面沉积。几十电子伏的低能离子沉积在表面上同时形成膜与基材间的过渡层，膜与基材间的粘接牢固；(4) 离子束增强沉积。离子束注入与膜沉积同时进行，注入离子与沉积原子碰撞，使沉积原子团分解并带有一定能量，使镀层均匀致密、无针孔并与基材表面结合紧密；(5) 等离子体浸没离子注入，也称为等离子体全方位离子注入。

（撰写：钱尚介　审订：李启瑞）

lizishu qudongqi

离子束驱动器　ion beam driver　能产生、传输、聚焦强流轻离子束或重离子束驱动惯性约束聚变的装置。主要分为轻离子束驱动器和重离子束驱动器。轻离子束驱动器利用高压脉冲功率源驱动离子二极管产生强流质子或锂离子束。重离子束驱动器采用高能感应加速器或高能射频加速器加速氙、铯或铋重离子。轻、重离子驱动器的共同特点是效率高、比功率沉积大、可重复频率运行。它们面临的共同课题是进一步提高束流强度、减小束发散。

（撰写：单玉生　审订：杨大为）

liziyuan

离子源　ion source　使中性原子、分子或原子团簇电离，并从中引出离子束的装置。离子源包含放电室、放电物质与功率的导入元件、维持放电稳定和离子寿命的约束电场或磁场结构以及离子引出和抽气系统。按照产生离子的不同方法，各种应用所需离子束的基本特征以及离子源结构中主要元件的特征，已经研制、生产出很多类型的离子源，形成不同系列和名称。例如，使用广泛以电子碰撞电离为基础的强流等离子体源有双等离子体离子源、PIG离子源和微波离子源；以产生高电荷态离子为主要特征的电子回旋共振（ECR）离子源、电子束离子源（EBIS）和激光离子源；产生高功率离子束的强脉冲离子源；产生金属离子的真空弧放电（MEVVA）离子源和溅射离子源，后者是重元素负离子源的主要类型。

（撰写：赵渭江　审订：关遐令）

lizizhiru shengwu bianyi

离子植入生物变异　mutation induced by ion implantation　将选定的离子注入到生物体内，引起生物分子移位、重排，以实现DNA重组和转移目的的新技术。包括离子束重组诱变、离子束介入转基因、离子束辅助农杆菌遗传转化以及离子束介导超远缘分子杂交等。这些技术应用于遗传改良，具有突变率高、突变谱广、突变可重复等特点，在农作物、微生物育种上取得了显著的经济和社会效益。

离子植入生物变异的关键设备是离子束生物工程装置，由离子源、电源与控制、真空系统、微环境靶室及细胞预处理系统组成。根据不同的育种目标，选取不同离子种类、能量、剂量和剂量率，植入生物细胞，经定向筛选和培育，达到育种的目标。 （撰写：余增亮 审订：钱尚介）

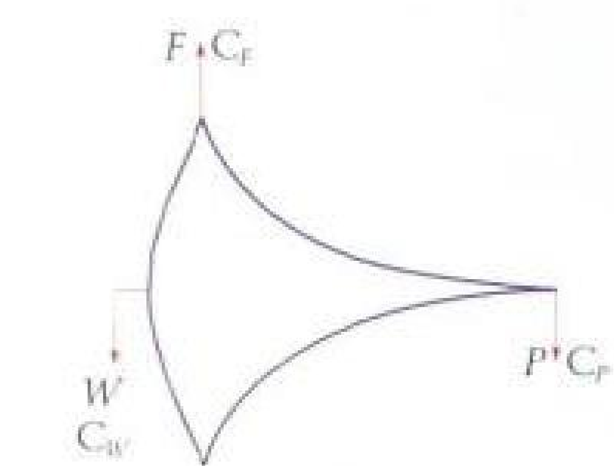
lizizhuruxing bandaoti tanceqi

离子注入型半导体探测器 ion implantation semiconductor detector 一种用离子注入工艺（代替扩散法）制成PN（或NP）结的半导体探测器。离子注入是依赖于离子被加速的动能，将要掺杂的杂质原子（如硼或磷）电离成离子，并加速到足够的能量使其穿透半导体样品的表面进入一定的深度，然后使样品在适当温度下进行热处理，以消除由于离子注入引起的晶体缺陷，而形成良好的PN结或NP结。离子注入工艺制备的探测器不仅具有面垒探测器同样好的能量分辨率，而且不受环境条件的影响，真空环境工作时性能稳定，同时具有窗薄、结深容易控制等优点。利用此种工艺，不仅可以制备出薄窗的高纯锗探测器及高纯硅探测器，还可制备出不宜采用扩散法的化合物半导体探测器。

（撰写：丁洪林 审订：李广将）

lixiang jilian

理想级联 ideal cascade 无混合损失的同位素分离级联。级联中有很多由不同管道汇合在一起的"汇合点"。当这些汇合点中无不同丰度的"混合"时，即无"混合损失"。所有的"汇合点"都没有"混合损失"的级联称为理想级联。理想级联的价值增率或有效分离功率总和等于级联中所有分离单元的分离功率的总和。所以，理想级联是相同级联外参量中分离功率总和最少的级联，也是总流量最少的级联。以气体扩散法为例，如果将^{235}U的丰度从天然的0.711%提高到约3%，需要1000级左右扩散级串联组成级联。理想级联各级流量都不同，如图所示，图中高度代表流量大小，长度代表级数。图中级联有一个供料口，两端分别为级联的精料口和贫料口。由于理想级联要求每级流量都不同，因而理想级联无法作为实际级联，但它常常作为级联比较的标准。如果对于所有丰度所对应的级联流量与理想级联的流量差小于20%，则两级联总流量之差小于20% × 20% = 4%。



理想级联流量分布示意图

（撰写：应纯同 审订：刘广钧）

li

锂 lithium 一种化学元素，符号Li，原子序数3，相对原子质量6.94，是化学性质最不活泼的碱金属，呈银白色，新鲜断面有微黄色泽。天然锂有两种稳定同位素：^{6}Li和^{7}Li。^{6}Li相对原子质量6.017，占天然锂的7.52%（原子）。^{7}Li相对原子质量7.018，占天然锂的92.48%（原子）。目前已合成^{11}Li，^{12}Li等。锂为体心立方结构。在140 K时，由体心立方转变为面心立方，74K时转变为密排立方。锂的密度为0.531g/cm^3（室温）。^{6}Li和^{7}Li的热中子吸收截面分别为945b和33b，与中子反应，都生成氚，是氚增殖材料。锂的熔点低（181℃），沸点高（1342℃），热容量大，导热性好，密度低，感生放射性小，是优良的反应堆液体金属冷却剂，锂也是锂电池的重要原料。锂的生产方法有LiCl–KCl电解、锂盐金属还原、锂化合物热分解等。 （撰写：卢浩琳 审订：韩延德）

li taoci

锂陶瓷 lithium-bearing ceramics 含锂的陶瓷材料。锂陶瓷种类很多，如Li_2O，$LiAlO_2$，Li_2ZrO_3，Li_2SiO_3，Li_2TiO_3，Li_4SiO_4等。锂陶瓷是聚变堆氚增殖材料，也是反应堆产氚材料。作为氚增殖材料，要求有优良的热物理性能，力学性能和满意的产氚能力。即要求材料热导率高，热膨胀系数小，抗热冲击能力强，氚增殖能力强，氚在材料中的滞留时间短，在300～400℃温度下氚能全部释放，以实现边辐照边产氚，此外，要求与包壳材料相容性好，感生放射性小。故目前聚变装置设计选用Li_2O，Li_2ZrO_3，Li_4SiO_4和Li_2TiO_3等4种陶瓷。但反应堆产氚除要求含锂陶瓷有优良的热物理性能和力学性能以外，还要求氚的滞留时间长、低的吸湿性。因此选用$LiAlO_2$陶瓷最佳（参见偏铝酸锂）。

（撰写：卢浩琳 审订：韩延德）

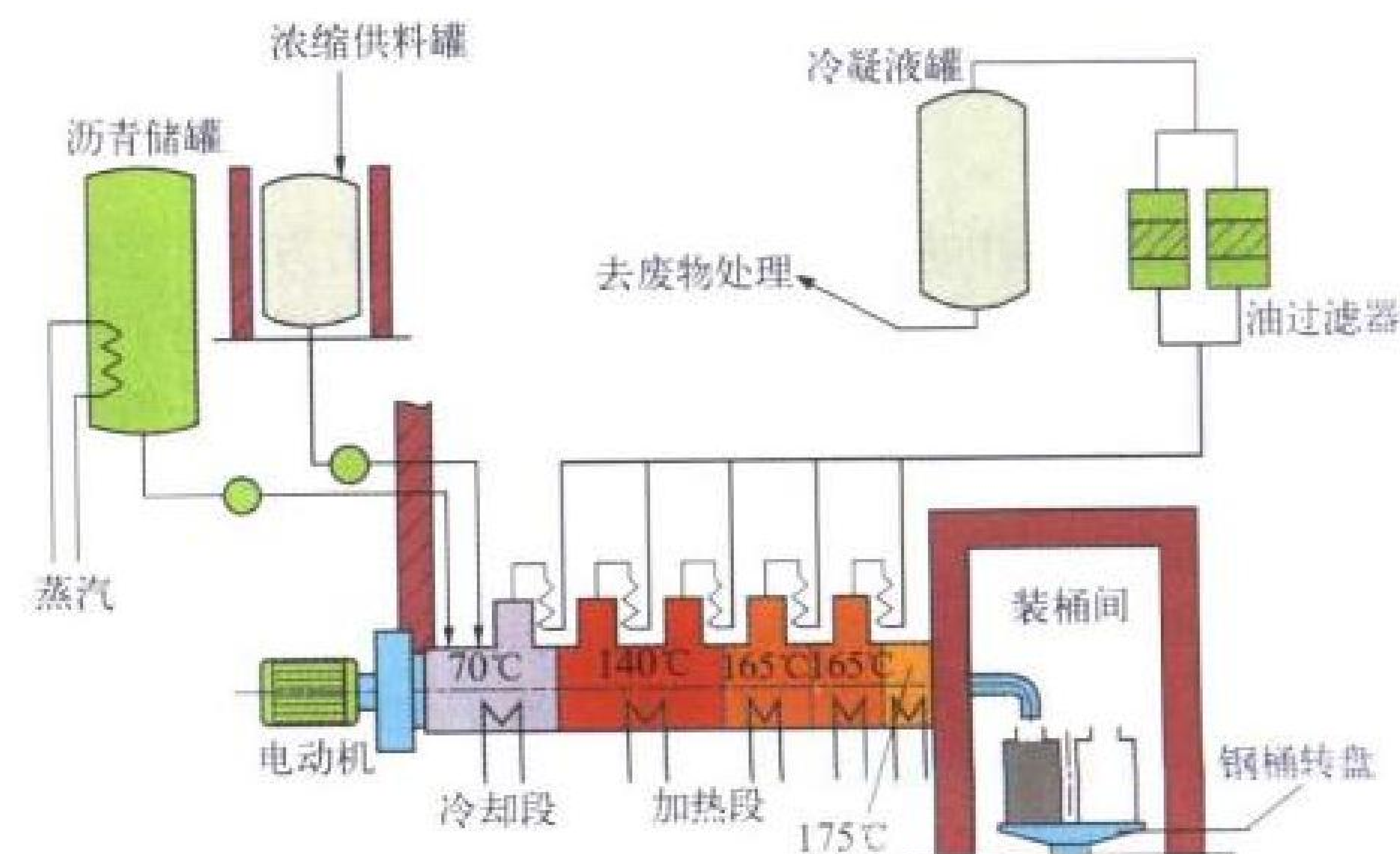
li tongweisu fenli

锂同位素分离 lithium isotopes separation 将天然锂的同位素^{6}Li和^{7}Li进行分离的方法。大致可分为物理方法（如分子蒸馏法和激光法等）和化学方法（如电迁移法、溶剂萃取法、离子交换法、锂汞齐法等）。其中，锂汞齐—锂溶液化学交换法是目前国际上工业规模分离锂同位素的惟一方法，它是在锂汞齐和锂溶液中通过两相逆流互相接触而发生的同位素化学交换反应，如$^{7}Li(Hg) + {}^{6}Li^{+} = {}^{6}Li(Hg) + {}^{7}Li^{-}$来实现锂同位素分离的。该法的优点是分离系数大（1.023～1.065）、同位素交换快（半交换期可低于2 s），两相锂浓度高和容易形成回流等。但缺点是需使用大量汞，在设备、安全、职业病防治和环境污染等方面存在问题。离子交换法分离锂同位素可提高富集系数，增加分离效率；激光法的主要优点是有很高的分离选择性；其他如热扩散法、电迁移法、蒸馏法等也都存在规模的限制或诸多技术上的困难。

（撰写：韩延德 审订：卢浩琳）

liqing guhua

沥青固化 bituminization；butumen solidification 把放射性废物掺合在沥青基料中形成固化体的过程（见图）。低、中放浓缩废液或废树脂加到熔化的沥青中，加热使水分蒸发，沥青和废物得到均匀混合，最后注入储桶，冷却后放射性物质被均匀地包容在沥青中成为沥青固化体。所采用的工艺设备



螺杆挤压机沥青固化工艺流程示意图

有：刮板薄膜蒸发器、螺杆挤压机、釜式蒸发器等不同类型。相对水泥固化来说，沥青固化废物包容量大，放射性核素的浸出率低，但由于工艺温度比较高，沥青又是可燃物，运行安全性是必须高度重视的问题，特别是用来固化含硝酸盐废物时。为此强调：(1) 严格控制操作温度在 180℃以下，并有完善的防止过热和防火措施；(2) 废物中不含或少含有催化作用的组分，重视料液的监测分析；(3) 混合后熔融沥青混合物分批装桶，装桶后冷却时间不少于 24 h，待桶中心温度降到 50℃以下送去储存。 （撰写：范显华 审订：孙明生）

liwai huobao

例外货包 excepted package 满足下列条件的一类用于运输放射性物质的包装。例外货包的放射性活度不得大于下列限值：(1) 放射性物质包含在仪器或其他制成品里面，或放射性物质构成仪器或其他制成品的一个组成部分，此时每个物件和每个货包的放射性活度限值分别由表中第 2 栏和第 3 栏规定；(2) 放射性物质不包含在仪器或其他制成品里面，或放射性物质不构成仪器或其他制成品的一个组成部分，该货包的放射性活度由表中第 4 栏规定；(3) 对天然铀、贫化铀或天然钍的制成品，倘若铀或钍的外表面被金属或其他坚固材料的非放射性包套所封装，则例外货包可装任意数量的这种物质；(4) 对邮运，每个例外货包的总放射性活度不得超过表中所规定的有关限值的十分之一。

例外货包的放射性活度限值

内容物的物态	仪器或制成品		放射性限值
	物件限值	货包限值	货包限值
固态			
特殊形式	$10^{-2}A_1$	A_1	$10^{-3}A_1$
其他形式	$10^{-2}A_2$	A_2	$10^{-3}A_2$
液态	$10^{-3}A_2$	$10^{-1}A_2$	$10^{-4}A_2$
气态			
氚	$2\times10^{-2}A_2$	$2\times10^{-1}A_2$	$2\times10^{-2}A_2$
特殊形式	$10^{-3}A_1$	$10^{-2}A_1$	$10^{-3}A_1$
其他形式	$10^{-3}A_2$	$10^{-2}A_2$	$10^{-3}A_2$

注：A_1 和 A_2 参见放射性核素基本值 A_1 和 A_2。

（撰写：董柳灿 审订：赵亚民）

lizi fushedu

粒子辐射度 particle radiance ($\dot{\Phi}_\Omega$) $d\dot{\Phi}$除以 $d\Omega$ 而得的商，即

$$\dot{\Phi}_\Omega = d\dot{\Phi} / d\Omega$$

式中 $d\dot{\Phi}$ 为在围绕某一特定方向上的 $d\Omega$ 立体角内传播的粒子注量率。粒子辐射度的单位为每平方米秒球面度($m^{-2}\cdot s^{-1}\cdot sr^{-1}$)。

（撰写：董柳灿 审订：陈竹舟）

lizi jiasuqi

粒子加速器 particle accelerator 一种用人工方法产生快速带电粒子束的装置。粒子加速器有三个基本组成部分：粒子源；真空加速系统和导引、聚焦系统。粒子加速器的效能通常以粒子所能达到的能量来表征。粒子能量在 100 MeV 以下的称为低能加速器，能量在 0.1～1 GeV 间的称为中能加速器，能量在 1 GeV 以上的称为高能加速器。按照被加速粒子的种类，加速器可分为电子加速器、质子加速器和重粒子加速器等。按照加速电场和粒子轨道的形态，又可分为四大类：直流高压式加速器、电磁感应式加速器、直线谐振式加速器和回旋谐振式加速器。它们各自都有适于工作的粒子品种、能量范围以及性能特色。近年来，大中型的粒子加速器（如重离子加速器和高能加速器等）往往采用多种加速器的串接组合：例如由直流高压型加速器作预加速器，注入直线谐振式加速器加速至中间能量，再注入回旋谐振式加速器加速至终能量。这样的系统有利于发挥每一类加速器的效率和特色。

（撰写：陈佳洱 审订：关遐令）

liziliu midu

粒子流密度 particle current density (J) 其垂直于任何表面上的分量，等于单位时间内按正方向穿过该表面单位面积的净粒子数的一个矢量。粒子流密度的单位为每平方米秒($m^{-2}\cdot s^{-1}$)。 （撰写：董柳灿 审订：陈竹舟）

lizishu midu

粒子[数]密度 particle [number] density (n) 单位体积内自由粒子的数目，即

$$n = N/V$$

式中 N 为粒子数，即发射、传播或接收到的粒子数目；V 为体积。粒子数密度的单位为每立方米(m^{-3})。

（撰写：董柳灿 审订：陈竹舟）

lizi zhuliang

粒子注量 particle fluence (Φ) dN 除以 da 而得的商，即

$$\Phi = dN/da \quad (1)$$

式中 dN 为射入截面积为 da 的球体中的粒子数。粒子注量的单位为每平方米（m^{-2}）。在剂量计算中，注量通常以粒子的轨迹长度来表示，由公式（2）给出

$$\Phi = dl/dv \quad (2)$$

式中 dl 为在体积 dv 中粒子轨迹长度之和。对于在时间间隔 t 内不发生变化并且是由速度为 v 粒子组成的辐射场，注量 Φ 由公式(3)给出

$$\Phi = nvt \quad (3)$$

式中 n 为单位体积的粒子数。粒子注量随能量的分布 Φ_E 由公式(4)给出

$$\Phi_E = d\Phi/dE \quad (4)$$

式中 $d\Phi$ 为能量在 E 和 $E+dE$ 之间的粒子注量。

（撰写：董柳灿 审订：陈竹舟）

lizi zhulianglü

粒子注量率 particle fluence rate ($\dot{\Phi}$) 又称粒子通量密度。$d\Phi$ 除以 dt 而得的商，即

$$\dot{\Phi} = d\Phi/dt = d^2N/da\,dt \quad (1)$$

式中 $d\Phi$ 为粒子注量在时间间隔 dt 内的增量。粒子注量率的单位为每平方米秒（$m^{-2}\cdot s^{-1}$）。对于由速度为 v 的粒子组成的辐射场，粒子注量率 $\dot{\Phi}$ 由下式给出

$$\dot{\Phi} = nv \quad (2)$$

式中 n 为单位体积的粒子数，即粒子[数]密度。

（撰写：董柳灿 审订：陈竹舟）

lianxu niliu cuiqu

连续逆流萃取 continuous countercurrent extraction 在连续接触萃取设备中，水相与有机相分别从其两端加入，以相反的方向流动的一种萃取过程。当连续逆流萃取在萃取柱中实现时，料液(水相)和萃取剂(有机相)分别从萃取柱的一端和另一端连续地流入，在重力或机械力作用下，两相经过多

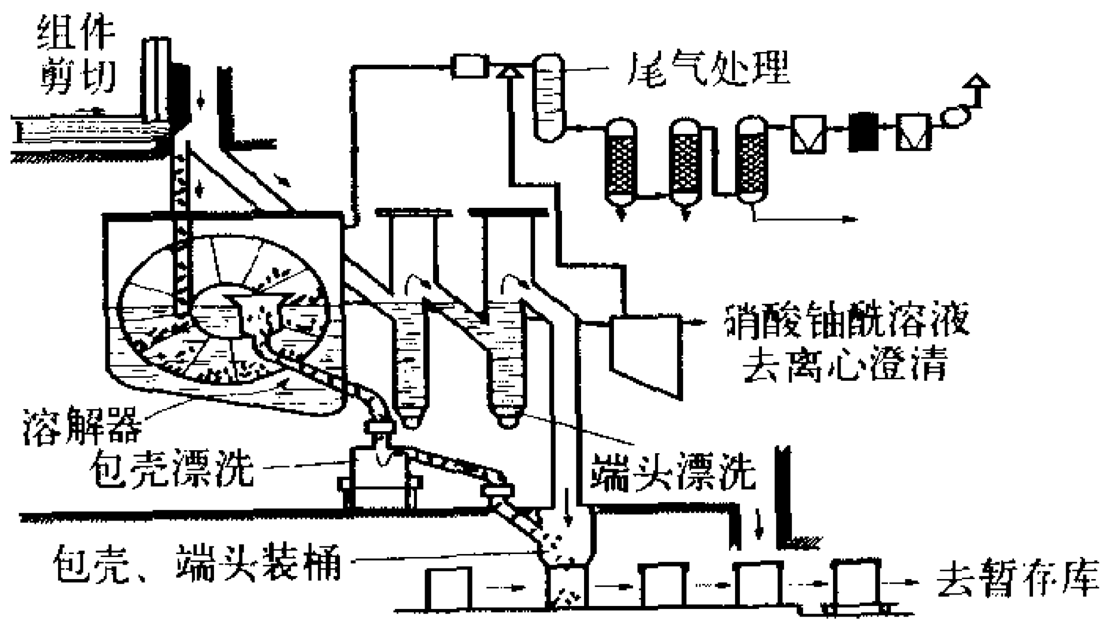
次接触实现物料的相间转移后，萃余液（水相）和萃取液（有机相）分别从柱的相反端流出，从而实现了萃取分离。连续逆流萃取具有推动力大，萃取分离效率高，可实现连续化操作，操作方便等优点，在工业中得到了广泛的应用。溶剂萃取法核燃料后处理厂中使用的脉冲筛板柱，即采用连续逆流萃取过程。（撰写：马栩泉　审订：林漳基）

lianxu niliu lizi jiaohuan

连续逆流离子交换　continuous countercurrent ion exchange　在吸附和解吸系统中，树脂分别在其中的各离子交换设备或各段之间连续地或周期性地与吸附料液或解吸剂反方向流动，饱和树脂流向解吸系统进行解吸，贫树脂流向吸附系统进行吸附的过程。在实际生产中，有的不采用连续逆流解吸法，而是采用充填密实床单塔分部解吸法或三塔串联解吸法（但负载树脂并不在这三塔间转移）与连续逆流吸附系统相配合。连续逆流离子交换设备种类颇多，且已广泛用于铀水冶工业。该法的最主要优点是：树脂投入量少，管线配置较简单，操作方便等。（撰写：许根福　审订：关自斌）

lianxu rongjie

连续溶解　continuous dissolution　核燃料后处理厂中以一定的速度连续地往溶解器中加入乏燃料短棒和溶解剂，并以一定的速度连续地排出合格的溶解液的过程（见图）。连续溶解的优点是：生产能力大，溶解过程反应平稳，无气峰，产品均匀。如图所示，连续溶解器中有一个匀速不断旋转的12格旋转轮，从剪切机下来的乏燃料短棒，连续地进入旋转轮的格中，乏燃料短棒浸泡在硝酸溶液中浸取溶解芯块，当乏燃料短棒转出液面时，包容在包壳中的芯块已被全部溶解。溶解液不断排出，新鲜的硝酸溶液不断注入，使溶解器的液位维持恒定。废包壳随着旋转轮离开液面，并自动地落入废包壳出口。连续溶解过程现已成熟地应用于大型商用乏燃料后处理厂。



UP3-800 连续溶解示意图

（撰写：林懋贞　审订：郑华铃）

liansuo zhuangzhi

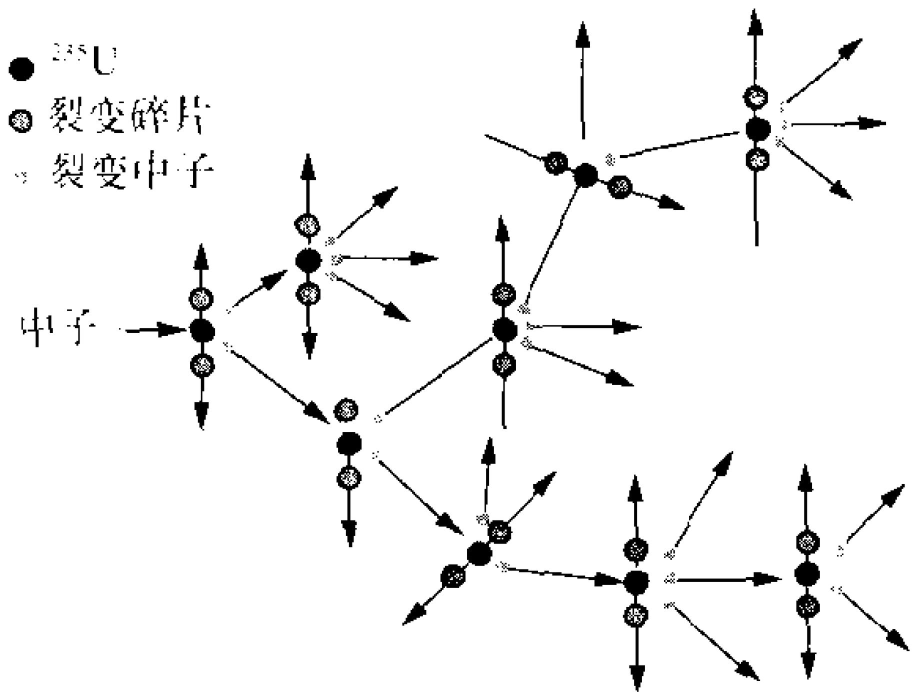
联锁[装置]　interlock　又称安全联锁[装置]。一种安全控制方法[装置]，使有关部件的动作相互关联，每个部件均必须处于规定状态或工况，否则辐射源不能投入运行或使用，或者使已投入运行或使用的辐射源立即关停。为减小潜在照射给工作人员和公众带来的辐射危险，辐照装置辐照室、反应堆厂房、加速器大厅、靶室等都采用了安全联锁[装置]。例如，现代辐照装置在每个入口或出口均装有与控制台联锁的屏障门，以防人员误入。控制系统综合了一些安全特征和联锁设计，以防止发生事故。再例如，核设施的控制与保护系统中大量使用了联锁[装置]。（撰写：刘华　审订：吴德强）

lianliebian chan'e

链裂变产额　chain fission yield　见裂变产额。

lianshi fanying

链式反应　chain reaction　核反应产物之一能引起同类核反应并使该类核反应逐代进行下去的过程。例如，当中子与易裂变核素作用而发生核裂变反应时，后者的原子核通常分裂为两个中等质量数的核，同时还将产生2个或3个新的裂变中子。在适当条件下，这些裂变中子又会引起周围易裂变核素的裂变，如此不断地一代一代继续下去，这种反应过程称为链式裂变反应，如图所示。如果每次核裂变反应产生的中子多于引起核裂变所消耗的中子，那么就有可能不依靠外界的作用而使裂变反应持续进行下去。这样的链式裂变反应称为自持的。核反应堆就是一种可控的自持链式裂变反应装置，而原子弹则是一种不可控的自持链式裂变反应装置。



链式裂变反应示意图

（撰写：奚树人　审订：单文志　许汉铭）

liangbu chendian

两步沉淀　two-stage precipitation　铀水冶中，一种直接从铀矿石酸性浸出液中经两步沉淀生产铀化学浓缩物的工艺过程。第一步沉淀或称预中和沉淀的目的是除去浸出液中的某些有害杂质。通常用石灰或碳酸钙（石灰石）作沉淀剂，中和的pH值一般控制在3～4的范围内，铁、铝、钛、钍等沉淀为氢氧化物或碱式硫酸盐，而硫酸根则以硫酸钙的形式与某些胶体二氧化硅一起沉淀。沉淀物铁—石膏中可能含有百分之几的铀，经浓密和过滤分离出的沉淀物返回铀矿石浸出工序或单独浸出铀以减少铀的损失。第二步沉淀的目的是制取铀水冶产品——铀化学浓缩物。经第一步沉淀所得到的较为纯净的溶液，选用碱中和法或过氧化物沉淀法，生产出化学形式为重铀酸盐或过氧化铀的产品。

（撰写：赵锡熊　审订：许根福）

liangxiang liudong buwendingxing

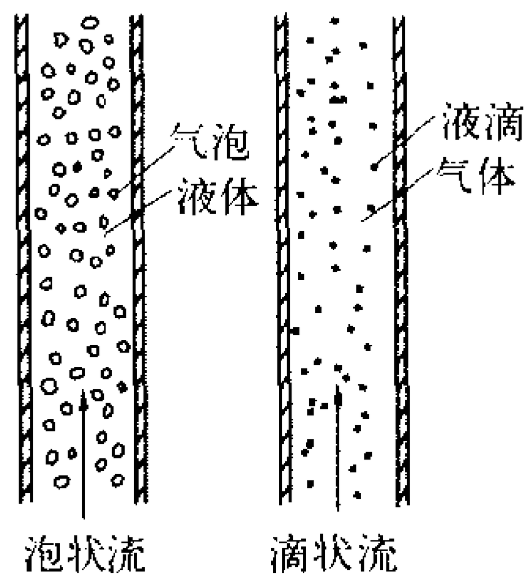
两相流动不稳定性　two-phase flow instability　两相流受到扰动后发生的流量漂移或流量振荡现象。振荡可以是收敛的或发散的，振荡的振幅可以是恒定的或变化的。反应堆内的流动不稳定性可能引起反应性变化，干扰控制系统，甚至造成事故；也可能使系统的传热性能恶化、发生偏离泡核沸腾；也可能造成部件的热疲劳破坏。因此在反应堆内绝不容许出现流动不稳定性。流动不稳定性可分为稳态流动（静力学）不稳定性和瞬态流动（动力学）不稳定性两类。前者包括流量漂移（又称 Ledinegg 不稳定性）和流型不稳定性等。后者包括密度波不稳定性、声振荡、热振荡、沸水反应堆流量脉动、并联通道流量振荡、凝结振荡及压降振荡等等。这些流动不稳定性产生的原因各异，解决的办法也各不相同。在

核反应堆内，有些流动不稳定性会造成反应性反馈的振荡，使情况变得更为复杂。实验证明，提高系统压力、加大通道进口节流度、缩短通道加热长度和增加流体质量流密度，都有助于增加系统的流动稳定性。

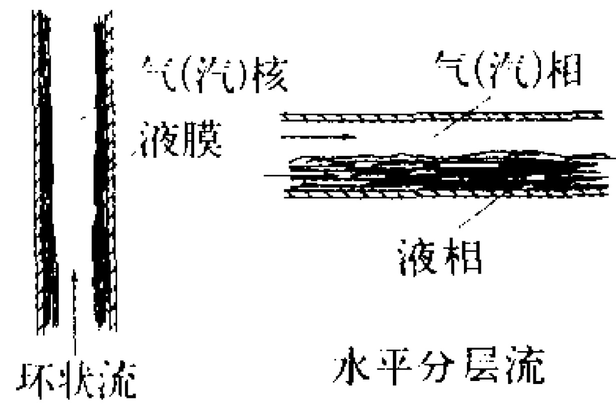
（撰写：马昌文　审订：李金才）

liangxiangliu moxing

两相流模型　two-phase flow model　描述两相流动特性的物理图像和数学方程。简单的两相流模型是：(1) 均相流模型：它把两相混合物的流动看成是一种均匀介质的流动，这种介质有均一的流动参量（如同一个流速和同一个温度），但其物性则是两个相物性的平均值。均相流模型可以用单相流体动力学方程来描述，其摩擦因子也使用单相流的公式计算。泡状流和滴状流接近均相流模型。该模型适用于两相流速较大、压力较高的情况。(2) 分离流模型：它把气—液两相流动看成是气相和液相各自分开的两股流动，每相有自己的流速和各自的物性参量，需要对每一相分别建立流体动力学方程，也可以把它们相加得到两相合起来的守恒方程。环状流和分层流接近分离流模型。该模型适用于两相流速较小的情况。



均相流模型的典型物理图像



分离流模型的典型物理图像

（撰写：郝老迷　审订：陈玉宙）

liangxiang yajiang

两相压降　two-phase pressure drop　两相流从通道的截面1到截面2的静压差。稳态流动的压降用如下动量守恒方程表示：$\Delta p = p_1 - p_2 = \Delta p_f + \Delta p_g + \Delta p_a + \Delta p_c$。式中 p_1 是截面1的静压力；p_2 是截面2的静压力；Δp_f 是摩擦压降，它是液体沿等截面直通道流动时由沿程摩擦阻力的作用而引起的压力损失；Δp_g 是重力压降（或称提升压降），它表示流体自截面1流至截面2时由流体位能的改变而引起的静压力变化，若流体位能增加，则 Δp_g 为正值，若流体位能减少，则 Δp_g 为负值；Δp_a 是加速压降，它表示因流体速度发生变化而引起的静压力变化，流体速度的改变可由流体密度的变化引起，也可由流通截面发生变化引起；Δp_c 是形阻压降，它是流体流过突然扩大或突然缩小的截面、弯管、接头、阀门、定位架、孔板等时所造成的集中压力损失。Δp_f 和 Δp_c 都是不可逆压力损失，它们表示损失的机械能变成了热能。

（撰写：于平安　修订：郝老迷　审订：陈玉宙）

liangxiang yajiang beilü

两相压降倍率　two-phase pressure drop multiplier　在相同情况下两相流压降与单相流压降之比。（参见两相压降）例如，气—液两相摩擦压降梯度 $(\mathrm{d}p/\mathrm{d}z)_f$ 可以表示成

$$(\mathrm{d}p/\mathrm{d}z)_f = (\mathrm{d}p/\mathrm{d}z)_{l0} \cdot \phi_{l0}^2$$

式中 ϕ_{l0}^2 为全液相两相摩擦压降倍率，它表示两相摩擦压力梯度是全液相摩擦压力梯度 $(\mathrm{d}p/\mathrm{d}z)_{l0}$ 的倍数，而 $(\mathrm{d}p/\mathrm{d}z)_{l0}$ 则表示把气—液两相流都设想为液体流动的摩擦压力梯度。对于两相加速压降、形阻压降和提升压降同样有其相应的压降倍率。除提升压降倍率小于1以外，其他压降倍率都大于1。

（撰写：郝老迷　审订：陈玉宙）

liangxunhuan liucheng

两循环流程　two cycle process　由两个萃取循环组成的溶剂萃取法核燃料后处理流程。通常指二循环普雷克斯流程，其第一循环是铀、钚共去污分离循环，在此循环中，铀、钚得到初步净化并实现了相互分离。分离后的铀、钚进入其各自的第二净化循环（可分别称铀线二循环、钚线二循环），在其中铀、钚得到进一步净化。可用硅胶吸附法和离子交换法来分别进一步净化铀、钚产品。

（撰写：马栩泉　审订：林漳基）

liangdu

亮度　brightness；luminosity　亮度这个量在束流物理中有两个不同的定义。一般意义上的亮度的英文是brightness，是指通过单位粒子束截面、单位立体角的束流强度，用 B 表示，其定义表达式为

$$B = \frac{2I}{\pi^2 \varepsilon_x \cdot \varepsilon_y}$$

式中 I 是粒子的电流强度；ε_x 和 ε_y 分别是粒子束水平和垂直方向的发射度。亮度 B 的单位是 $\mathrm{A \cdot m^2}$。亮度的另外一个定义为专指对撞机的亮度，它的英文为luminosity，其符号是 L。对撞机亮度的定义为单位反应截面上束流对撞所产生的反应事例率。其单位是 $\mathrm{cm^{-2} \cdot s^{-1}}$，其定义表达式为

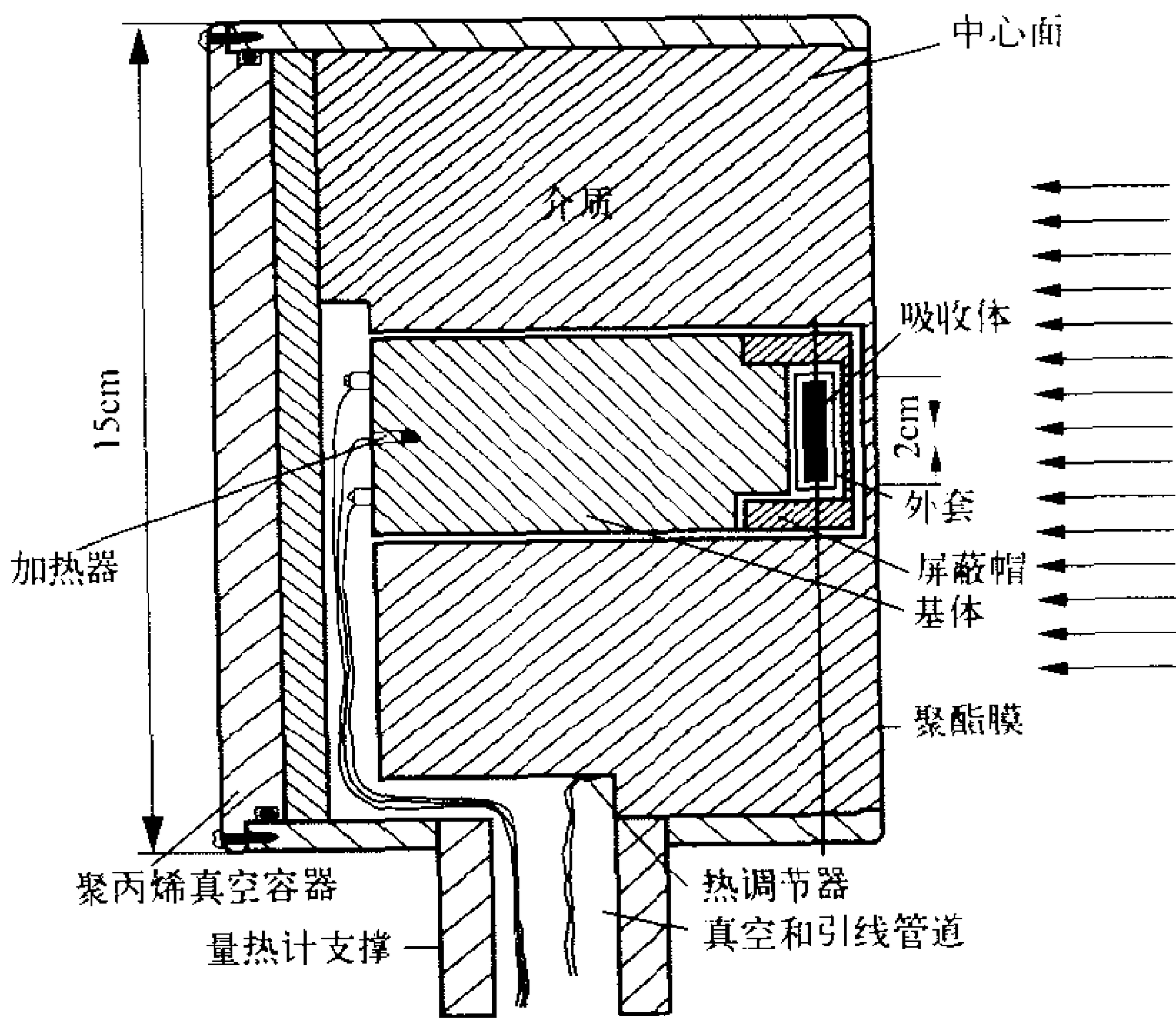
$$L = \frac{fN^2}{A}$$

式中 N 是对撞束流中的粒子数目；A 为对撞点处束团截面积；f 为对撞频率。

（撰写：张闯　审订：方守贤）

liangrefa

量热法　calorimetry　由测量温度升高来确定吸收剂量或活度的方法。射线与物质相互作用，物质吸收能量原则上最终会因热效应而使其温度升高，直接测量受照物质的温度升高就可以确定该物质的吸收剂量。在全部或大部分吸收的情况下，如α，β辐射源，甚至低能γ辐射源被放入量热计元件中，可通过吸收的能量和源的衰变纲图来确定该辐射源的活



量热计剖面图

度。前者称为剂量量热法，后者称为活度量热法。不少国家已建立了均质量热计作为吸收剂量标准。其设计如图所示。吸收介质为石墨，其吸收剂量 D 为

$$D=\mathrm{d}E/\mathrm{d}m=(\mathrm{d}E_H+\mathrm{d}E_S)/\mathrm{d}m$$

式中 E_H 是以热形式释放的能量；E_S 是由于化学变化释放、吸收或贮存于晶格中的能量，称为热亏，对此测量结果要进行修正。一般选择石墨作为吸收体，其原因除了它的比热低、灵敏度高外，还有一个重要原因就是它的热亏小。但是人们还是希望能建立水量热计，直接给出水吸收剂量，这对放射治疗很有意义。量热法测量剂量的困难是它的灵敏度低（以水为例，2 Gy 吸收剂量只能升高 0.0005℃），难以保证量热元件与周围介质之间绝热，也有热亏难以准确测定和不同介质吸收剂量转换方面的困难。但是对于高强度脉冲辐射，量热法有它的优势，因为它没有像其他测量方法存在的剂量率问题，且照射时间很短，其间的热交换也就很小。

（撰写：李景云　审订：容超凡）

liangzishu jishu

量子束技术　quantum beam technology　涉及高能带电粒子加速器与激光系统直接或间接产生的量子束，如自由电子激光、同步辐射光、高能 X 射线、γ 射线、离子束、电子束、等离子束、中子、正电子、π 介子、μ 子等本身的结构与性能及其应用的现代技术。量子束技术在物质微量成分与精细结构分析、量子束 CT 显像，以及材料刻蚀与超微细加工等方面的功效已初见端倪（见表）。目前一些具有实用化前景的技术项目正朝量子束工程的方向转化，出现了诸如光子工厂和介子工厂一类工程装置。量子束技术，不论就其技术本身或是其潜在的应用，都属于现代科学技术的前沿领域，具有广泛的发展空间，充分体现了这一技术的先进性和尖端性。

量子束技术及其潜在应用

量子束		辐射源	潜在应用	
			检测与分析	材料加工
光子	激光	自由电子激光器等	激光应用检测	刻蚀，同位素分离
	同步辐射光	光子工厂	物质微细结构分析	大规模集成电路制造
	X 射线	X 射线激光器	微细结构分析，医学诊断	刻蚀，材料加工
	γ 射线	γ 射线激光器	无损检测，γ 射线 CT 显像	固相物质改性
带电粒子	离子束	质子直线加速器 重离子加速器	元素分析	离子掺杂，新核素制备
	电子束	电子加速器	电子显微镜，元素分析	表面涂层固化，废气处理
	等离子束	等离子体装置		刻蚀制版，等离子加工
基本粒子	中子	核散裂源	冷中子散射分析	中子嬗变掺杂
	正电子	慢正电子源	正电子显微镜正电子CT显像	
	π 介子	介子发生器(介子工厂)	核物理研究	癌症治疗
	μ 子	μ 子源	μ 子自旋表面分析	μ 子催化核聚变等

（撰写：吕延晓　审订：包华影）

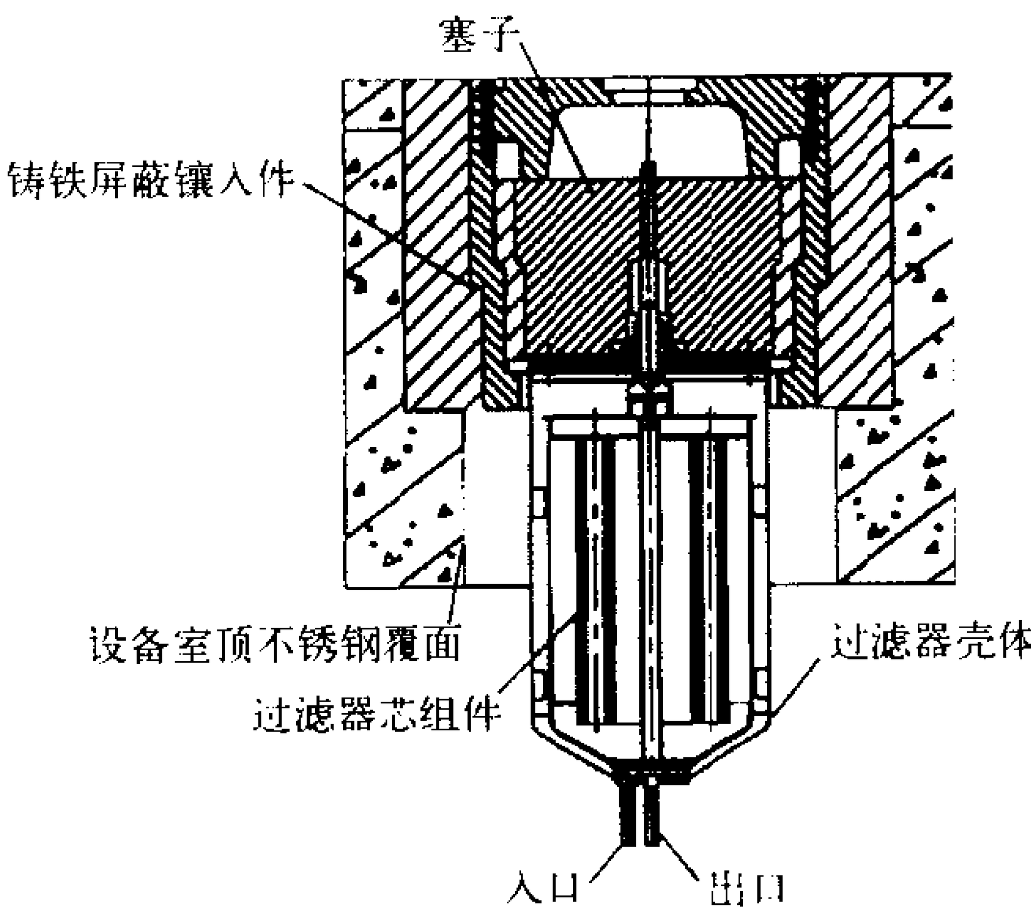
liao de xingwei

钌的行为　behaviour of ruthenium　乏燃料后处理工艺中裂变产物元素钌的化学行为。钌具有正一到八价的氧化态，化学性质不活泼。在首端溶解阶段，不溶残渣中约有50%是钌。硝酸溶液中的钌主要以 Ru^{2+},Ru^{3+} 存在，Ru^{4+} 仅占 1%。Ru^{3+} 被磷酸三丁酯（TBP）萃取的分配比很低。Ru^{2+} 以亚硝酰钌（$RuNO^{3+}$）存在，Ru—NO 键格外稳定，并与其他配位体按八面体配位。$RuNO^{3+}$ 能形成数百种络合物，在硝酸溶液中通常形成硝酸根、亚硝酸根、水分子和氢氧根等多元配合物，还存在二聚物和络合阴离子。其中的亚硝酸根配合物不易被 TBP 萃取，但容易形成配合阴离子被季铵盐萃取。可被 TBP 萃取的是 $RuNO(NO_3)_3(H_2O)_2$，萃合物中有二或四个 TBP 分子，提高硝酸浓度和铀萃取饱和度，使自由 TBP 浓度降低，可有效地限制钌的萃取。RuO_4 挥发点低，在 45～110℃ 可完全挥发。在工艺流程的溶液操作条件下，不会形成 RuO_4。在高放废液固化硝酸盐分解时会氧化钌为 RuO_4 而挥发出来，RuO_4 有毒，而且不稳定，会分解成 RuO_2 附着在管壁上引起堵塞。

（撰写：林灿生　审订：朱永賰）

liaoye guolü

料液过滤　feed filtration　料液通过专门的介质或设备，去除料液中颗粒物或絮凝物的工艺过程。料液澄清有压滤、真空吸滤及离心分离等方法。目前可供选择的有澄清式离心过滤器、烧结金属管过滤器、深层缠绕式过滤器、玻璃纤维过滤器等。在乏燃料后处理厂，由于被过滤的料液 γ 放射性强，α 放射性核素含量高，因此过滤器结构有以下特点：过滤器的壳体吊装在混凝土设备室的顶板上，并与流程上工艺管道



深层缠绕式过滤器剖面图

相连接，过滤器芯子可在 γ 屏蔽检修容器内完成更换。沉降离心式过滤器已成熟地应用于乏燃料溶解液的过滤工艺，深层缠绕式过滤器（见图）用于再生复用有机溶剂的过滤。

（撰写：林懋贞　审订：郑华铃）

liaoye yuchuli

料液预处理　pretreatment of feed solution　料液在进入下一工序处理之前，为了满足下一工序的特定要求，向料液中加入某种化学试剂，在加温或不加温条件下，对料液进行处理的过程。在乏燃料后处理工序中有多处料液预处理，如生产堆乏燃料溶解过程中，生成硅溶胶于溶解液中，它们在进入溶剂萃取的过程中将形成界面污物聚积在界面上，并吸附大量的放射性物质，增大了萃取器中溶剂受辐照剂量，使溶剂质量下降，使去污系数下降，严重时界面污物沾污筛板阻塞管道、发生液泛，使生产不能稳定进行。为此向溶解液中加入絮凝剂，使之絮凝分离。料液预处理是乏燃料后处理工艺过程中不可缺少的环节。

（撰写：林懋贞　审订：郑华铃）

liebian baozha guozao dianhuo

裂变爆炸过早点火　predetonation in fission explosion　先于设计要求时刻引发裂变武器（或热核武器初级）爆炸的链式裂变反应的情况。为了提高裂变武器的爆炸威力和效率（即发生裂变的裂变材料质量与裂变材料装量之比），裂变爆炸一般设计在最大超临界度附近时注入点火中子实现核点火。但裂

变系统在从临界过渡到最大超临界状态的过程中，任何游散中子（如自发裂变中子，宇宙射线随机中子等）进入都有可能形成无限裂变链，诱发发散型的链式裂变反应。这种情况下，爆炸威力将达不到设计值，甚至使爆炸失败。因此，在设计裂变武器时要尽量减少进入裂变系统的游散中子，如限制钚材料中^{240}Pu的含量（^{240}Pu是自发裂变中子的强发射体）和核材料中的轻元素杂质含量（因为许多核材料都是α放射性的，α粒子与铍、氟、硼等杂质相互作用将放出中子）。

（撰写：郑绍唐　审订：徐適新）

liebian chan'e

裂变产额 fission yield　裂变中产生某一给定种类裂变产物的份额。它又细分为原始裂变产额（又称独立裂变产额）和累积裂变产额。前者是指在瞬发中子发射后，发生β衰变以前生成的该核素的份额。后者是在规定时间内直接和由其他裂变产物β衰变产生的该核素的合计份额。如不限定时间，累积产额指的是渐近值。某一质量数的所有核素的独立产额之和为该质量链的链裂变产额。裂变产额是一个重要的核数据，利用该数据可确定核燃料的燃耗，计算核装置产生的放射性和衰变余热等。（撰写：韩洪银　审订：张焕乔）

liebian chanwu

裂变产物 fission products　核裂变生成的裂变碎片及其衰变产物。其中，裂变直接产生的产物在发射中子前的称原始裂变碎片，有时简称裂片，而发射中子后发生β衰变前的产物称原始、独立或直接裂变产物。裂变产物有200多种核素，质量数在70～160之间。例如^{235}U核素吸收一个中子后裂变，形成具有激发能的原始裂变碎片^{140}Xe和^{96}Sr，这两个原始碎片分别发射一个中子和二个中子后形成直接裂变产物^{139}Xe和^{94}Sr，它们经过的β^-衰变链分别为：$^{139}Xe \rightarrow {}^{139}Cs \rightarrow {}^{139}Ba \rightarrow {}^{139}La$和$^{94}Sr \rightarrow {}^{94}Y \rightarrow {}^{94}Zr$。（撰写：韩洪银　审订：张焕乔）

liebian chanwu de huaxue zhuangtai

裂变产物的化学状态 chemical state of fission products　重核裂变时，所生成的裂变产物的价态和化学行为。裂变产物最终化学状态的形成经历了一个非常复杂的能量耗散和“反冲”过程，最终所处的价态、形成的化合物或络合物取决于裂变产物碎片及其衰变子体所处的介质环境、所具有的初始能量、裂变产物元素的性质。核燃料中裂变产物的含量及其化学状态会影响核燃料的导热、热膨胀、蠕变和熔点等物理性能，也会影响放射性的释放，关系到反应堆事故中放射性泄漏问题。了解其化学状态对于乏核燃料的后处理工艺及放射性三废处理的工艺选择具有实际意义。

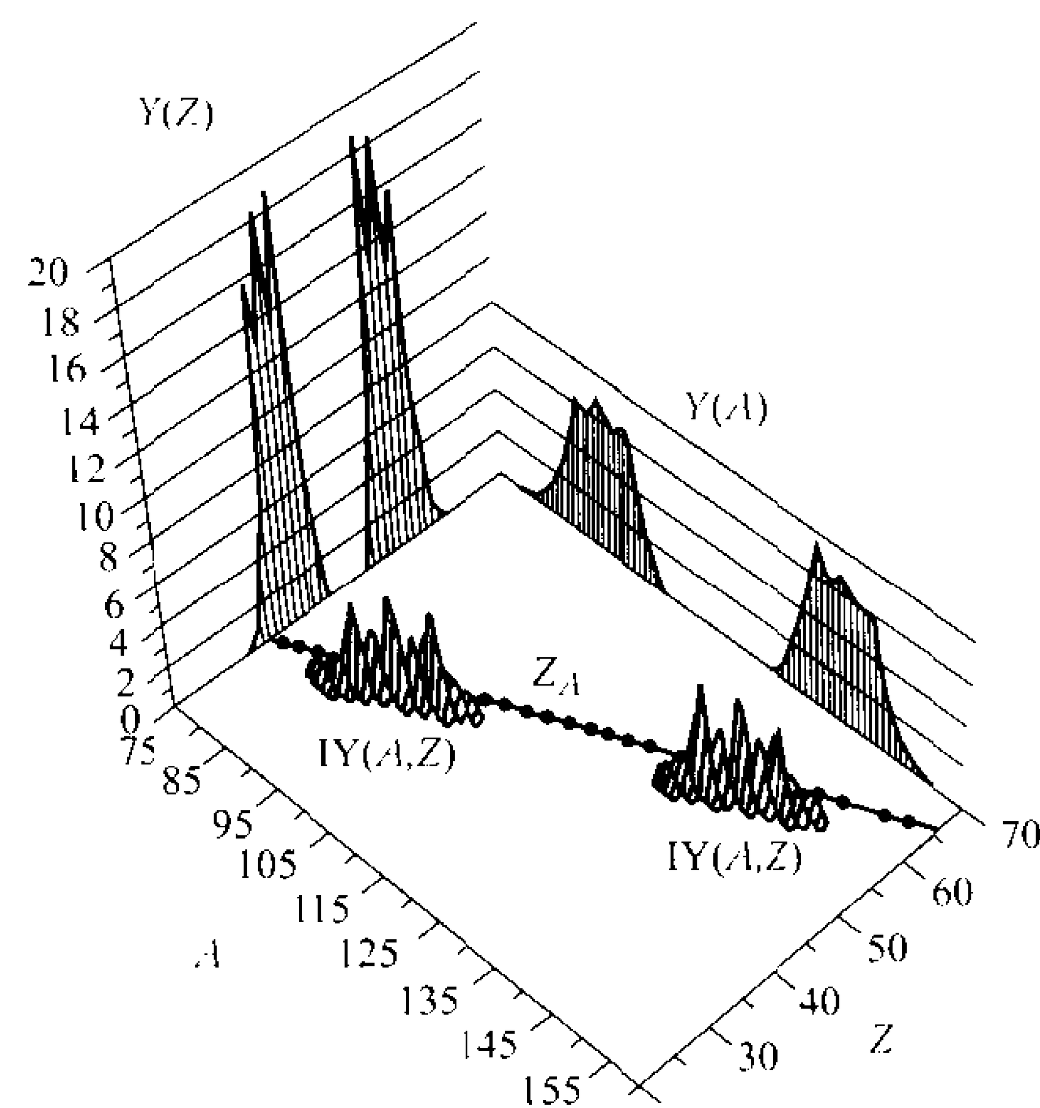
（撰写：张丕禄　审订：郭景儒）

liebian chanwu dianhe fenbu

裂变产物电荷分布 nuclear charge distribution of fission products　核裂变生成的裂变产物质量链中同量异位素的独立产额IY(A,Z)的变化规律。如图所示中央处的IY(A,Z)曲线簇即是裂变产物电荷分布研究的对象。对质量数为A的裂变产物链，沿该链的核电荷弥散，常用其同量异位素的分独立产额FIY(A,Z)的高斯函数描述：

$$\mathrm{FIY}(A,Z)=\frac{\mathrm{EOF}(Z,N)}{\sqrt{2\pi\sigma_Z(A)}\mathrm{NF}(A)}\exp\left\{-\left[Z-Z_p(A)\right]^2\Big/2\sigma_Z^2(A)\right\}$$

式中$Z_P(A)$，$\sigma_Z(A)$，EOF(Z,N)，NF(A)分别为最可几电荷、电荷弥散宽度、偶—奇因子和归一化因子。低激发能下锕系核非对称裂变区的$Z_P(A)$实验值与不变电荷分布（UCD）假说的预报值$Z_{UCD}(A)$间有一近乎不变的偏离，即$\Delta Z(A)=Z_P(A)-Z_{UCD}(A)\approx\pm0.5$，而非对称裂变的平均电荷弥散宽度$\bar{\sigma}_Z(A)$则近似为常数，它基本上与裂变体系无关，$\bar{\sigma}_Z(A)\approx0.5$。受$Z=50$质子壳效应的影响，对称裂变的$Z_P(A)$、$\bar{\sigma}_Z(A)$ $\bar{\sigma}_Z(A)$与非对称裂变的不同，$\bar{\sigma}_Z(A)$明显偏低。裂变产物电荷分布特征受核的结构效应影响，质子偶—奇效应EOF(Z)随裂变核的核电荷数的增加而减弱，对同一裂变元素的不同同位素，该效应基本相同；已观测到的中子偶—奇效应EOF(N)比EOF(Z)小得多。（撰写：李学良　审订：郭景儒）



热中子诱发^{235}U的裂变产物产额分布图

liebian chanwu jubu jizhong

裂变产物局部集中 local concentration of fission products　在燃料元件内，由芯块与包壳相互作用（PCI）引起的包壳破损过程中，包壳内侧某些局部区域发生裂变产物集中的现象。反应堆内外实验表明：该现象导致应力腐蚀开裂（SCC）进展剧烈，加速这些部位裂纹的发展，最终造成燃料棒泄漏。裂变产物集中的局部区域常为：(1)环脊区域（参见环脊）：由于几何条件，裂变产物在向气腔迁移的过程中，往往滞留在这些局部区域；(2)包壳已有初始缺陷或已开裂处，这些局部区域相当于某些“凹坑”，裂变产物易于在此集中；(3)包壳内壁在腐蚀过程中形成的“蚀坑”：本来平整无损的包壳内侧锆表面，与碘发生作用形成碘化锆，碘化锆层由于厚度不均匀而在较薄弱处出现“蚀坑”。随后，碘在蚀坑处不断与新暴露出来的锆表面发生作用，蚀坑不断深入，成为碘集中和裂纹贯穿壁厚的区域。

（撰写：张忠岳　审订：黄玉才）

liebian chanwu qianyi

裂变产物迁移 fission product migration　在高温和陡峭的温度梯度下，固态裂变产物在燃料元件内进行径向迁移的现象。固态裂变产物钌、碲、锝、钯等以单质存在。它们顺着温度梯度方向迁移至中央空洞处聚集。铯、铷、碘、碲等裂变产物原子可以迅速地聚集成气泡，沿温度梯度向中央空洞及晶界、裂缝、相互连通的孔隙中扩散，由此进入燃料元件的气腔和间隙，形成氧化性较强的物质（如氧化铯、碘化铯、铀酸

绝等)，从而加速包壳的内壁腐蚀，甚至导致应力腐蚀开裂。

（撰写：张汝娴　审订：李文埮）

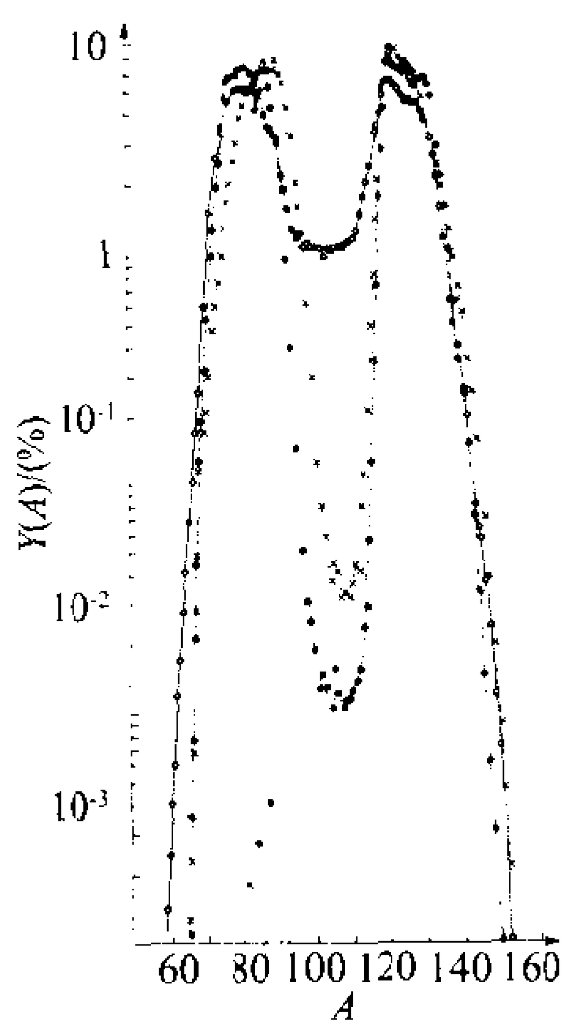
liebian chanwu yuansu

裂变产物元素　fission product elements　重元素发生核裂变反应生成的元素。重核发生裂变时生成两个或两个以上原子序数和质量数都不相同的裂变碎片，这些碎片通常是丰中子而不稳定的，通过发射瞬发中子或缓发中子以及一系列的β衰变趋于稳定。由于三裂变的几率很小，裂变产物主要来自重核双裂变的碎片。轻组裂变产物的质量数主要在66～117；重组的质量数主要为119～172。主要的裂变产物元素包括原子序数从 $Z=30$ (Zn) 到 $Z=66$ (Dy) 的37种元素200多种核素。通常一种裂变产物元素由几种质量数不同的裂变产物(同位素)组成，裂变产物元素的同位素组成和天然元素不同，其中放射性同位素是自然界不存在的，裂变产物元素中有两个自然界不存在的放射性元素，Tc ($Z=43$) 和 Pm ($Z=61$)。

（撰写：林灿生　审订：朱永賰）

liebian chanwu zhiliang fenbu

裂变产物质量分布　mass distribution of fission products　核裂变时生成质量数为 A 的裂变产物质量链的产额 $Y(A)$ 与 A 间的关系。在低激发能条件下，原子序数 $Z>83$ 的裂变核，通常以非对称质量分裂为最可几。裂变核质量分裂的这种非对称性，决定了裂变产物质量分布曲线 $Y(A)\sim(A)$ 为双驼峰曲线（见图）。质量分布特征与裂变体系的激发能和裂变核的质量数有关。锕系核的裂变产物质量分布具有以下特征：(1) 对称裂变概率低，峰谷比（非对称与对称裂变产额之比）可达2个数量级；(2) 激发能升高和裂变核质量数增大，对称裂变概率随之增加，峰谷比降低；(3) 裂变核的质量数变化时，重产物群的平均质量数（重峰峰位）稳定不变，而轻产物群的平均质量数（轻峰峰位）则随裂变核的质量数增加而增大；(4) 对偶—偶裂变核（^{235}U+中子、^{239}Pu+中子）而言，受核的结构效应的影响，$Y(A)\sim(A)$ 曲线不光滑，曲线上存在着精细结构峰。　（撰写：李学良　审订：郭景儒）



^{235}U, ^{239}Pu 中子诱发裂变的裂变产物质量分布图

•—热中子、^{235}U；
◦—14MeV中子、^{235}U；
×—14MeV中子、^{239}Pu

liebian dianlishi

裂变电离室　fission ionization chamber　一种在电极上涂覆裂变物质灵敏层的电离室。中子与灵敏层中的裂变物质（如^{235}U, ^{238}U, ^{239}Pu, ^{232}Th, ^{252}Cf等）发生裂变反应，产生的裂变碎片使室内气体电离，在电场作用下，电极上收集到电离电荷信号。该信号与入射的中子注量率成正比。涂覆不同的裂变物质，可用来探测不同能量的中子。根据入射中子注量率的大小，输出信号的方式也有不同，在较低中子注量率时，测量脉冲信号，在较高中子注量率时，测量电离电流或均方根电压，因此这种电离室作为宽量程（可达10个量级）探测器，在核反应堆控制中得到广泛应用。电极上涂覆的裂变物质本身放出的粒子（如α粒子），中子场（如核反应堆内）中伴生的γ辐射都会使气体电离，产生本底脉冲或电流，该本底与裂变碎片产生的信号脉冲或电流相比是很小的，很容易被甄别掉或者可以忽略不计，因此这种电离室具有较强的甄别γ本底的能力。　（撰写：陆双桐　审订：杨继明）

liebian huaxue

裂变化学　fission chemistry　以可裂变核素及裂变产物为研究对象，以放射化学方法为研究手段，以裂变规律为研究目的的一门核化学分支学科。裂变化学和裂变物理作为两个兄弟学科，互有交叉又相互补充，推动了裂变现象研究的深入发展。裂变化学研究的主要内容包括：重核素的裂变性质的研究；裂变产物质量分布和电荷分布研究；发现和鉴别新的裂变产物核素；裂变产物化学状态研究以及裂变化学的方法学研究等。　（撰写：郭景儒　审订：崔安智）

liebian neng

裂变能　fission energy　原子核每次裂变释放的总能量，通常指其平均值，可从核的质量亏损算出。它以碎片总动能、瞬发中子和瞬发γ射线能量以及与β衰变相关的β粒子、缓发中子和γ射线以及中微子的能量形式释放。例如热中子引起^{235}U裂变的裂变能约为200 MeV。其中碎片总动能为170 MeV，中子动能约为5 MeV，γ射线能量为7～8 MeV，其余为与β衰变过程相关的能量释放。1 kg^{235}U裂变释放的能量相当于20000 t TNT炸药或3000 t煤的化学能。

（撰写：韩洪银　审订：张焕乔）

liebian qiti shifang

裂变气体释放　fission gas release　陶瓷燃料中大量气态裂变产物脱离芯块向燃料棒自由空间释放的现象。轻水堆燃料（如UO_2）每发生100次裂变，约产生125个裂变气体原子，其中主要是氪、氙和碘。这些气体几乎不溶于燃料基体，而以气泡形态析出，并迁移到达晶界、裂纹等自由表面，在高温下向燃料棒间隙和空腔释放。裂变气体释放使燃料棒内压升高，影响燃料棒的间隙导热和力学性能；多数裂变气体发出穿透性辐射，这是辐射源项中重要的一类同位素；对快堆燃料，部分侵蚀性裂变气体如铯、碲等对包壳产生渗透性腐蚀，可能导致燃料包壳的应力腐蚀开裂（参见应力腐蚀开裂）。

（撰写：李文埮　审订：张忠岳）

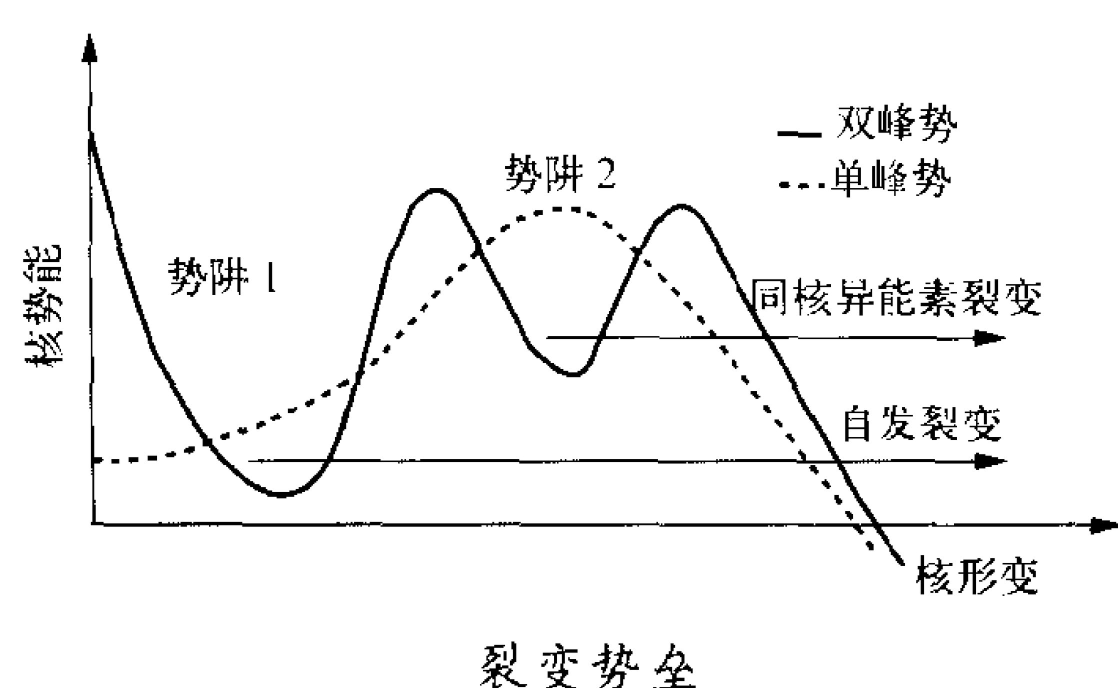
liebian qiti shifangliang ceding

裂变气体释放量测定　fission gases release measurement　对燃料棒内已释放的裂变气体总量的测量和其组分的分析。裂变气体释放量测定属于破坏性检验。裂变气体释放量测定的步骤大致如下：先将燃料棒一端装入真空室内，采用激光束或电钻对其端部进行刺孔，使棒内已释放的裂变气体充满真空室；第二步，测量该气体向已知容积的容器膨胀后的压力变化，即测出裂变气体释放总量；第三步，抽出燃料棒和真空系统内的裂变气体将一定量的某气体（如氮气）充入，测出包壳空腔容积，并算得燃料棒的内压；最后，采用质谱仪或气相色谱仪分析裂变气体组分，估算氪、氙裂变气体的释放率。　（撰写：王树人　审订：李文埮）

liebian shilei

裂变势垒　fission barrier　重核从基态形变向断点形变过渡时的势能变化形成的势垒（见图）。按早期的液滴模型，核的

势能由库仑能和表面能组成。前者由库仑排斥力产生，推动拉长变形，后者源于核表面张力，它阻止变形。由此给出的势能变化曲线是一个单峰曲线(图中虚线)，在鞍点取得极大值，形成裂变势垒。鞍点与基态间的势能差为裂变势垒高度。当形变超过鞍点后，核势能随形变增加而减少，最后在断点形成两个分离的碎片。进一步的研究表明，从Th到Bk等核素的裂变势垒应为双峰势垒(图中实线)，核势能的基态极小值通常不在形变等于零处，在对应单峰势垒的鞍点形变附近，势能形成第二极小。处于第二极小的核素称为裂变同核异能素。核的激发能超过势垒高度，立即发生裂变。能量低于势垒的重核也可通过量子力学的势垒穿透发生裂变，例如重核的自发裂变和同核异能素裂变。



裂变势垒

（撰写：韩洪银　审订：张焕乔）

liebian suipian

裂变碎片　fission fragment　见裂变产物。

liebian suipian de fanchong fanying

裂变碎片的反冲反应　recoil reaction of fission fragments　裂变碎片与介质原子或遭到损伤的分子、分子基团相结合，形成某种化合物的过程。裂变碎片在生成的过程中获得巨大的反冲动能和激发能，在这种动能的耗散过程中与介质作用，失去自身的能量，电离和激发介质的原子或分子，并形成化合物。裂变碎片的反冲反应包括核裂变和裂变产物核衰变引起的反应。裂变生成的反冲原子(裂变碎片)具有很大的动能和很长的射程，在裂变进行的介质中沉积很大的能量，从而引起许多化学过程。气体体系简单、易于控制，故大多数有关反冲机制的研究都在气相中进行。还发现在气相中同一种裂变产物核素初级碎片的反应比次级碎片(通过前驱产物β衰变生成的)更有效。凝聚相中的裂变反冲反应不容易控制，反应产额较高，反应生成物的差异性较小。反冲反应可用于裂变产物的快速分离和裂变产额的测定。由于反应条件难以控制，实验研究、理论解释也比较困难，故研究进展不大。

（撰写：张丕禄　审订：郭景儒）

liebian tonghe yinengsu

裂变同核异能素　fission isomer　处于裂变双峰势垒第二势阱内的某一能态，具有极短的裂变半衰期的重原子核。裂变同核异能素的特征是具有长轴与短轴之比约为2∶1的大形变。因为双峰势垒第二势阱的基态比第一势阱的基态约高2～3 MeV，同核异能素裂变时只需穿越一个窄而低的外势垒，故至今观测到的裂变同核异能素的自发裂变半衰期 T_f 都短于 10^{-2} s。例如裂变同核异能素 $^{242}Am^m$ 的 $T_f=(14.0\pm0.4)$ms；而核素 ^{242}Am 的 $T_f=9.5\times10^{11}$ a，后者约为前者的 10^{21} 倍。至今未观测到比 $^{234}U^m$ 轻或比 $^{245}Bk^m$ 重的裂变同核异能素，其原因是，对 $Z<92$ 的核素来说，裂变双峰势垒的内势垒高度显著低于外势垒，同核异能素可通过非辐射跃迁返回第一势阱；对 $Z>97$ 的核素来说，外势垒又太低，在第二势阱的同核异能素的寿命太短，以至于当前的测量技术尚无法确定它们的存在。

（撰写：韩洪银　审订：张焕乔）

liebian weili

裂变威力　fission yield　核弹中由 ^{235}U 或 ^{239}Pu 等重原子核的裂变所产生的能量。纯裂变武器的全部威力均为裂变威力。它所包含的5种主要能量形式：冲击波、光辐射、早期核辐射、放射性沾染和核电磁脉冲。其中，放射性沾染对环境造成大面积污染，因此裂变威力越大就意味着放射性沾染会越严重。氢弹是利用裂变爆炸装置的能量点燃氘、氚等轻核的自持聚变反应，瞬时释放巨大能量的武器。它的威力由裂变威力和聚变威力组成，两种威力所占的份额可以通过不同的设计来调整。例如，威力为几百万吨TNT当量以上的三相弹，裂变威力份额大都在50%左右。三相弹的优点是比威力高，缺点是放射性沾染较严重。（撰写：兰家亨　审订：郑绍唐）

liebian wuqi

裂变武器　fission weapon　俗称原子弹。爆炸能量来自原子核链式裂变反应的武器。裂变武器的基本设计原理是：起爆前使裂变系统保持次临界状态，依靠炸药爆炸使裂变系统快速达到超临界，当系统在最佳状态（即在最大超临界度附近）时注入点火中子，引发链式裂变反应，形成核爆炸，并利用惰层延缓系统飞散，增大爆炸威力。裂变武器按其使系统达到高超临界态方法的不同分为枪法和内爆法两种。依靠增大裂变材料体积的办法使裂变系统达到超临界的叫枪法裂变武器，也叫压拢型；依靠增大裂变材料密度的办法使裂变系统达到超临界的叫内爆法裂变武器，又叫压紧型。裂变武器由核爆炸装置和引爆控制系统等组成。核爆炸装置包括炸药部件，核部件，核点火部件和结构部件。炸药部件包括炸药起爆元件和主装炸药。核部件包括反射层/惰层和裂变材料芯。核点火部件即中子源，其作用是使链式裂变反应适时点火。此外，还有弹壳及结构件。裂变武器爆炸时，先由引爆控制系统发出起爆指令，触发雷管，雷管和起爆元件引爆主装炸药。内爆法裂变武器依靠炸药爆炸的能量推动、压缩核部件，使裂变系统从次临界过渡到超临界状态。枪法裂变武器则依靠炸药爆炸迅速将多块裂变材料部件推拢到一起达到超临界状态。美国是最早研制成功裂变武器的国家。1942年8月美国成立负责管理原子弹研制的曼哈顿工程特区(Manhattan Engineering District)，1945年制成3枚裂变武器，1枚用于试验，2枚分别投在日本广岛和长崎。投在广岛的代号为“小男孩”(Little Boy)，是枪法设计；投在长崎的代号为“胖子”(Fat Man)，为内爆法设计。二战后美国又发展了助爆型原子弹和悬置式合成弹芯的原子弹。1952年11月美国试验了世界上威力最大的纯裂变武器，实测威力50万吨TNT。在美国之后，苏联在1949年8月29日，英国在1952年10月3日，法国在1960年2月13日，我国在1964年10月16日相继爆炸了原子弹。　（撰写：郑绍唐　审订：徐通新）

liebian zhongzi

裂变中子　fission neutron　由裂变过程产生的中子分为瞬发中子和缓发中子。瞬发中子伴随裂变产生，没有或只有极短的延迟，包含有下述4种成分：(1)具有激发能的复合核在到达势垒鞍点前通过(n,n'f),(n,2nf)等反应道发射的鞍点前中子；(2)复合核从鞍点向断点运动期间发射的断裂中子；通常把两个过程发射的中子统称为断裂前中子；(3)核断裂后的两碎片在库仑力加速期间发射的中子；(4)当碎片速度达到

它们最后速度的90%以后发射的中子。这4种中子的数目主要依赖于激发能。还有少量中子是特定裂变碎片在β衰变过程中发射的，由于这种中子发射具有长达秒量级以上的半衰期，被称为缓发中子。 （撰写：韩洪银 审订：张焕乔）

liebian zhongzi nengpu

裂变中子能谱 fission neutron energy spectrum 实验室坐标系中瞬发中子的能量分布。由于大部分中子是从运动碎片发射的，故中子的实验室能量由中子的发射能和运动碎片的附加动能组合而成。发射中子的碎片其质量数、动能和激发能均有变化，因此，重核的裂变中子能谱是由许多变量决定的。不过，系统地分析实验谱，归纳出所有重核裂变的中子能谱可以较好地用麦克斯韦公式 $N(E_n) \propto \sqrt{E_n}\exp(E_n/T_m)$ 表示，式中 T_m 为温度参数；也可写为瓦特谱形式 $N(E_n) \propto \sinh(4E_nE_f/T_w^2)^{1/2}\exp(-E_n/T_m)$，这里 E_f为碎片平均能量，T_w为瓦特谱参数。对于热中子引起的 ^{235}U 裂变，$T_m = 1.29$ MeV 或 $E_f = 0.54$ MeV, $T_w = 0.965$ MeV。

（撰写：韩洪银 审订：张焕乔）

liepian

裂片 fission fragment 见裂变产物。

linjie anquan

临界安全 criticality safety 预防临界事故和减轻临界事故后果的措施，或就临界事故而言的状态。临界事故是指核设施中反应性意外增加从而发生不可控的链式反应及能量释放。临界安全是核工业的特殊安全问题。在富集铀和钚的提取、加工、贮存、运输和使用的工艺流程中都有临界安全问题。因此工艺流程的设计、产品的贮存和运输都要对临界安全进行预测和制定防范措施，防止发生临界事故。在核燃料循环中遇到的系统种类繁多，有铀有钚，有溶液有固体，有单体有多体，几何形状多样，其临界特性一般由实验确定，但也有许多情形无法用实验模拟，因而理论计算方法成为解决临界安全问题的一种有效手段。理论计算方法必须经过相应的基准临界实验验证。 （撰写：沈雷生 审订：罗璋琳 许汉铭）

linjie anquan zhishu

临界安全指数 criticality safety index 给装有易裂变物质的货包、外包装或货物集装箱指定的数字，利用它对装有易裂变物质的货包、外包装或货物集装箱的聚集作用加以控制。对装有易裂变物质的货包的临界安全指数必须按下列两种方法确定：(1) 由50除以货包的容许件数 N 得出的，临界安全指数可以为零，条件是无限多个货包都是亚临界的，即 N 值实际上为无限大；(2) 对每个托运货物的临界安全指数由装在该托运货物中的所有货包的临界安全指数之总和确定的。

（撰写：董柳灿 审订：赵亚民）

linjie bangshan

临界棒栅 control rod lattice for criticality 利用控制棒移动使反应堆达到临界时各组控制棒位置的组合状态。为了便于运行，常将反应堆内的控制棒编成若干组，每一组棒（也称为棒栅）在运行过程中基本保持同步提升或下降来实现规定的功能。控制棒编组的原则是使各组棒具有适当的价值，同时当其整体提升或下降时应尽量使反应堆功率空间分布保持均匀。对于研究反应堆，控制棒数量较少，一般不作编组，但是有时也广义地称反应堆达到临界时各根控制棒所处高度的组合状态为临界棒栅。 （撰写：许汉铭 审订：陈叔平）

linjie bangwei

临界棒位 critical control rod position 反应堆达到临界时控制反应性的中子吸收体（控制棒）在反应堆内位置的高度。通常在反应堆内先插入足够多的控制棒，待燃料和慢化剂全部装好后逐步提起控制棒，在外中子源的作用下反应堆内的中子数逐渐增加。如果在某个棒位取走外中子源，反应堆内中子数随时间逐渐减少，则反应堆还处于次临界状态。当控制棒达到某一位置，取走外中子源后反应堆内中子数不再下降而维持在一定水平，则反应堆处于临界状态。此时控制棒在反应堆内位置的高度即为临界棒位。随着反应堆的运行，由于核燃料消耗、温度效应、中毒等因素的变化，临界棒位也将发生变化（参见临界实验）。 （撰写：史永谦 审订：罗璋琳 许汉铭）

linjie cichang

临界磁场 critical magnetic field 在一定温度下的超导态会被足够强的磁场破坏，这个磁场的临界值就称为超导体的临界磁场（H_c）。超导体的临界磁场是温度的函数。将超导材料放在不太强的磁场中，然后降低温度，让它进入超导态。这样，正常态时材料中的磁感应线会被完全排斥出来，样品中的磁感应强度变成了零。这就是迈斯纳效应。具有确定临界磁场H_c的超导体为第Ⅰ类超导体或软超导体。软超导体大多是纯净的样品，具有很低的临界磁场。因此它没有太大的使用价值。没有确定的临界磁场的材料为第Ⅱ类超导体或硬超导体。这种超导体，其临界磁场是在一下限 H_{c1} 和一上限 H_{c2} 之间的一个区间。当磁场强度 H 低于 H_{c1} 时，样品内磁感应强度 $B=0$，样品是完全抗磁体；当 H 逐渐上升到 H_{c2} 时，样品内磁感应强度不等于零，并逐渐上升；当 H 超过 H_{c2} 时样品完全回到正常态。通常，硬超导体具有很高的临界磁场，它具有实用价值。 （撰写：赵 夔 审订：王传英）

linjie fangcheng

临界方程 critical equation 达到临界状态（参见反应堆临界）、能维持自持链式反应的中子增殖介质系统的参数必须满足的关系式。临界方程为

$$k = k_\infty p = 1$$

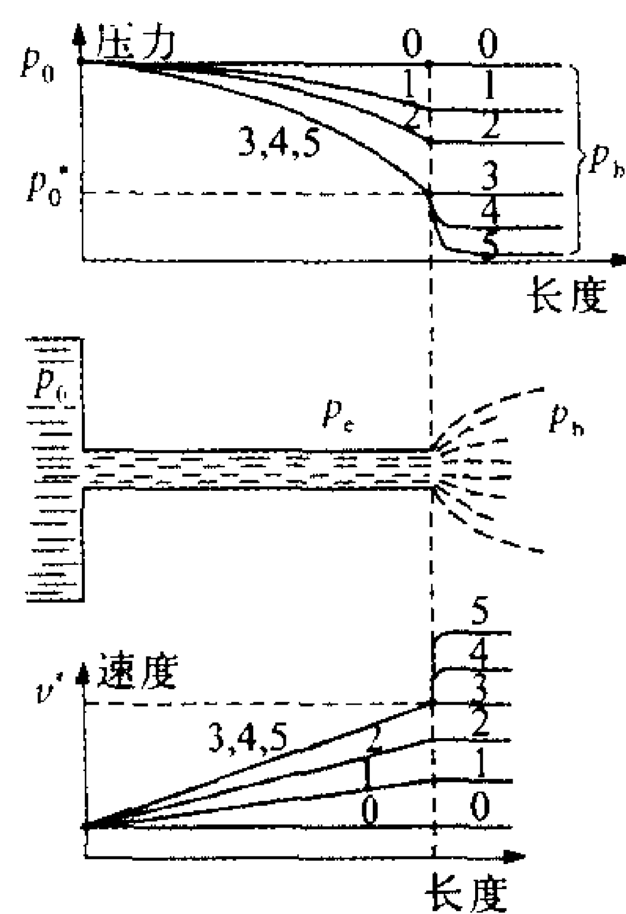
式中 k 为有效中子增殖因子；k_∞ 为无限介质中子增殖因子；p 为不泄漏概率。在费米年龄近似下，临界方程为

$$k = \frac{k_\infty e^{-B^2\tau}}{1+L^2B^2} = 1$$

式中 τ 为中子年龄；L 为热中子扩散长度；B^2 为几何曲率。$e^{-B^2\tau}$ 和 $1/(1+L^2B^2)$ 分别表示慢化过程的不泄漏概率和热中子的不泄漏概率。 （撰写：奚树人 审订：单文志 许汉铭）

linjieliu

临界流 critical flow 容器内流体向外流动时背压降低到某个值后再进一步降低，流量也不会增加的现象。如图所示，如果容器内压力 p_0 固定不变，则当背压 p_b 低于 p_0 时（曲线1），流体便沿管道开始流动。当 p_b 进一步降低时，通道出口流速或流量相应增加（曲线2），而出口压力 p_e 仍然等于 p_b。然而当 p_b 降得足够低，以致使通道出口处流速增加到等于该处温


临界流原理示意图

度和压力下的声速 v^* 时，出口流量就达到了最大值(曲线3)。此后，再进一步降低 p_b 也不会使出口流量增加，也不会使 p_e 降低(曲线4和5)。临界流也叫受限流或壅塞流。临界流现象在可压缩单相流或两相流中都可能发生。它在反应堆事故分析中十分重要。在水冷反应堆一次冷却剂管道发生破裂时，破口一般处于汽—液两相临界流，其临界流量的大小决定了冷却剂的流失速率和一回路卸压速率，从而影响到堆芯冷却能力和应急堆芯冷却系统的设计。临界流量的大小主要取决于临界截面的上游工况，例如汽—液两相临界流量随上游压力 p_0 的增高而增加，随上游比焓 h_0 或上游含汽率 x_0 的增加而降低。 （撰写：郝老迷　审订：陈玉宙）

linjie reliu midu

临界热流密度　critical heat flux (CHF)　正好使沸腾传热机制发生变化而使传热系数突然降低（沸腾危机）时的热流密度。在强迫对流沸腾中，主要有两种类型的沸腾危机：偏离泡核沸腾和干涸(参见偏离泡核沸腾和干涸)。

（撰写：郝老迷　审订：陈玉宙）

linjie reliu midubi

临界热流密度比　critical heat flux ratio(CHFR)　燃料元件某个点的临界热流密度 q_C 与包壳上该点实际热流密度 q_R 之比，即 CHFR= q_C/q_R。“临界”可能是 DNB 型或干涸型，但前者更为危险，因而临界热流密度比往往即指偏离泡核沸腾比(参见偏离泡核沸腾比)。（撰写：郝老迷　审订：陈玉宙）

linjie shiyan

临界实验　critical experiment　确定核装置实现自持链式反应所需条件的物理实验。做临界实验的核装置除包含裂变燃料外，一般还包含慢化剂和反射层。核装置泛指反应堆、裂变燃料贮存容器及乏燃料后处理容器(贮存器、溶解器、搅拌器等)。临界实验的主要设备有中子源、中子探测器和记录仪器仪表等。在临界实验中采用某种特定的方式使核装置在恒定外中子源的作用下中子数增多。利用中子探测器测量中子数目的变化，并经过分析确认其接近临界条件的程度。特定方式有多种，主要是减小装置的表面积或增加装置的体积。增加核装置体积通常有两种方式：一种是先装好慢化剂和反射层，然后逐渐增加裂变燃料；另一种是先装好裂变燃料，再逐步提高慢化剂和反射层的高度。在大型反应堆中，往往是先装入足够数量的中子吸收棒，待裂变燃料和慢化剂全部装好后，逐步提起中子吸收棒使反应堆达到临界；或在装裂变燃料之前在慢化剂内加入足够量的硼毒物，做临界实验时，逐步降低硼溶液浓度以达到临界。后者一般用于压水堆。

（撰写：史永谦　审订：罗璋琳　许汉铭）

linjie wendu

临界温度　critical temperature　超导体直流电阻变为零时的温度叫做超导态的临界温度。通常，物质的电阻随温度线性下降。但是许多物质在温度降到某一临界温度时，电阻会突然消失，这就是超导电性。但是，电阻下降到零的过程是在一个有限的温度间隔内完成的。通常把样品电阻降到 $R_n/2$ 的温度定义为它的临界温度，其中 R_n 是正常态转变到超导态前样品的电阻。临界温度是物质常数，对于同一材料，在相同的条件下，它有严格的确定值。

（撰写：赵　燮　审订：王传英）

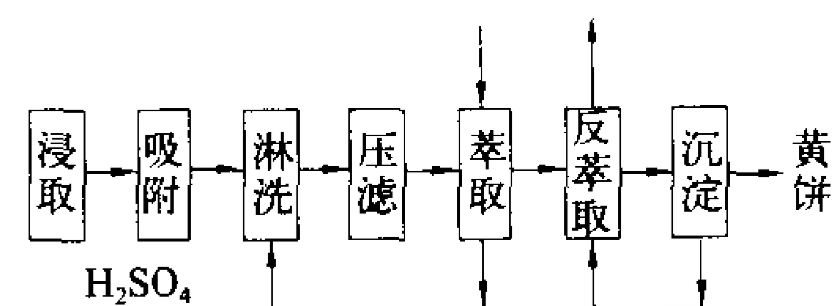
linjie zhuangzhi

临界装置　critical assembly　对核燃料和构成堆芯的其他材料的各种布置方式和组成进行实验测量，确定其临界特性，以校验理论计算，并为反应堆核设计提供依据的物理实验装置。一般说来，临界装置功率很低，无须冷却，因此临界装置也称为零功率装置。

（撰写：奚树人　审订：单文志　许汉铭）

lincui liucheng

淋萃流程　eluex process　又称埃留克斯法。以硫酸作为铀饱和树脂的解吸(淋洗)剂，其解吸液经萃取铀后的萃余液返回配制成新解吸剂的离子交换法与萃取法的联合工艺过程。淋萃流程使用硫酸溶液解吸铀饱和树脂(见图)，避免了使用硝酸盐或氯化物作解吸剂带来的硝酸根、氯根对环境的污染。与单纯的溶剂萃取流程相比，淋萃流程的优点是解吸合格液体积小、铀浓度高、杂质少，萃余水相全部循环使用，可制取高纯三碳酸铀酰铵、重铀酸铵或四氟化铀产品。法国、南非、中国等国采用清液或浑浊液吸附的淋萃工艺制备核纯三碳酸铀酰铵，日本在淋萃流程基础上开发出从矿石直接制备 UF_4 产品工艺，称之为“动燃法”。



淋萃流程示意图

（撰写：关自斌　审订：夏润身）

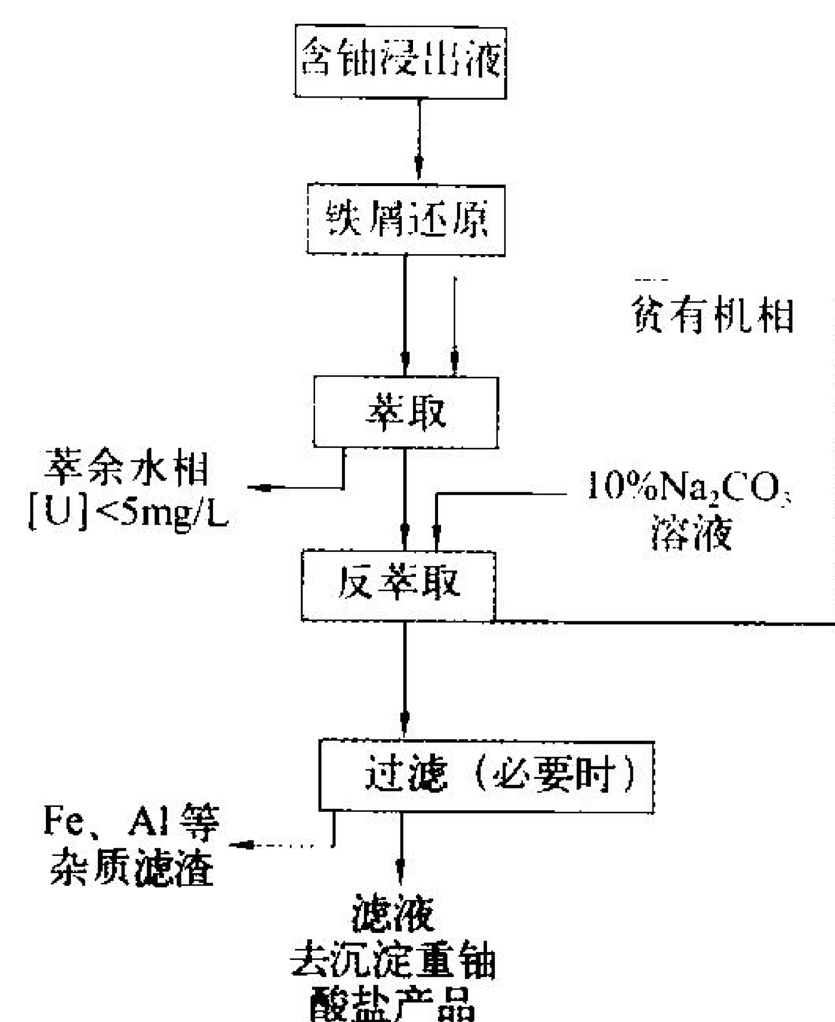
linkuaiyan youkuangchuang

磷块岩铀矿床　phosphorite uranium deposit　形成于大陆架上，以隐晶质的磷灰石为主要含铀矿物的海相沉积铀矿床。矿石中一般无独立的铀矿物。磷块岩铀矿床是成岩铀矿床，其产出时代有震旦—寒武纪、志留—奥陶纪、二叠纪、侏罗—白垩纪和第三纪。由于含铀磷块岩中铀的含量很低($20\times10^{-6}\sim300\times10^{-6}$)以及铀的回收工艺复杂，目前磷块岩中的铀只是作为生产磷酸盐时的副产品回收。磷块岩铀矿床的铀资源量巨大，仅摩洛哥就拥有650万吨以上，其他拥有工业利用价值磷块岩铀矿床的国家有墨西哥、约旦、哈萨克斯坦、越南、芬兰、巴西、哥伦比亚和美国等。

（撰写：陈祖伊　审订：赵凤民）

linlei cuiqufa

磷类萃取法　phosphorus compound extraction process　用有机磷化合物作萃取剂，从水溶液中提取分离金属的方法。有机磷萃取剂分酸性磷萃取剂和中性磷萃取剂，磷类萃取法中的萃取剂主要指酸性萃取剂，其代表是二-(2-乙基己基)



用 D2EHPA 萃取铀的工艺流程图

磷酸，简称 D2EHPA，是阳离子交换萃取剂。用 D2EHPA 作萃取剂时，需要加入稀释剂和协萃剂构成有机相，常用的稀释剂是煤油，常用的协萃剂是磷酸三丁酯（TBP）和三烷基磷氧化物（TRPO）。D2EHPA 在煤油中形成二聚体，二聚体中两个可离解的氢原子中的一个进入水相与待提取的金属离子进行交换。协萃剂的加入可提高 D2EHPA 的萃取能力，同时还抑制杂质离子（如Fe^{3+}）的萃取。用 D2EHPA 从硫酸浸出液中萃取铀是磷类萃取法的典型应用，国外称为 Dapax 法，如图所示。（撰写：程光荣　审订：牛玉清）

linsuanbi liucheng

磷酸铋流程　bismuth phosphate process　又称磷酸铋—氟化物流程。用磷酸铋共沉淀的方法从辐照过核燃料溶解液中分离和纯化钚的流程。此流程存在间歇操作、不能回收铀、耗费大量化学试剂、废物量大等缺点。

（撰写：马栩泉　审订：林漳基）

ling weili heshiyan

零威力核试验　zero yield nuclear test　见［炸药驱动］次临界实验。

lingzhouqi jiasudu

零周期加速度　zero period acceleration (ZPA)　地震设计响应谱高频段的加速度，也就是最大地面加速度。所谓高频段，在实际地震工程应用中，即指频率大于等于33 Hz的区段，它在理论上与假想的刚度极大、频率很高（约等于无穷大）、周期约等于0的情况相对应。振子零周期加速度与地面加速度相等，而与振子的阻尼无关。（撰写：黄经绍　审订：张忠岳）

liuweier dingli

刘维尔定理　Liouville's theorem　粒子在保守系中运动时，在共轭变数所构成的相空间内粒子代表点的密度在运动过程中保持不变。当粒子束沿 x，y，z 3 个方向的运动互不相关时，那么粒子束分别在（x，p_x），（y，p_y），（z，p_z）3 个相平面内的代表点所占的相面积在传输过程中也保持不变。刘维尔定理成立的条件为：(1) 外场必须是保守场；(2) 不考虑粒子间的相互作用。但是，当粒子产生的自场可以由平均电场标量势函数 $\varphi(x, y, z)$ 和平均磁场矢量势函数 $A(x, y, z)$ 来表示时，定理仍成立；(3) 必须忽略粒子与传输系统中剩余气体的分子或原子的碰撞；(4) 必须忽略粒子的辐射。

（撰写：欧阳华甫　审订：王传英）

liukuang caikuangfa

留矿采矿法　shrinkage stoping　将矿块分成矿房和矿柱，矿房回采自下而上分层进行，用浅眼崩矿，每次崩下矿石放出三分之一，其余暂存矿房中作为继续上采工作平台，待矿房采完后进行最终放矿和矿柱回采的铀矿开采方法。适于开采矿石围岩均稳固、急倾极薄铀矿体。由于留矿法采场生产能力大、采矿成本低，在铀矿山采用较早，但由于暂存矿石量多，堆放时间长、矿石暴露面积大，在单位时间内析出的氡气、氡子体浓度比其他采矿方法都高，因此推广面不大。近年来将采场上行风改为下行风流，使进入新鲜空气不致被氡、氡子体污染，改善了作业条件，推广的比例又逐渐增加。

（撰写：王昌汉　审订：李开文）

liudongdu

流动度　fluidity　水泥固化工艺中表示废液水泥浆流动性的一种指标。其大小以水泥浆在流动桌上扩展的平均直径（mm）表示。水泥固化废液时，流动度主要取决于水泥的需水性和加水量即水灰比。通常水灰比大，流动度也大，水灰比小，流动度也小。水泥固化废液时需要一定的流动度，特别是在大体积浇注水泥固化时，必须有足够的流动度，以保证水泥浆在凝固前能自由流淌到处置单元的每个角落。但水灰比增大，往往会降低固化体的其他性能如抗压强度、抗浸出性能等。通常可通过加添加剂的方法来解决它们之间的矛盾。

（撰写：范显华　审订：曾继述）

liu gu ouhe

流—固耦合　fluid-structure interaction (FSI)　在某种激励下，浸于流体之中或包容流体的结构部件的响应和流体的响应，由于流—固界面存在反复的动量和能量交换而产生相互作用和相互影响的现象。反应堆结构分析常常遇到流—固热耦合和流—固动力耦合问题。例如：快堆主容器是包容大量液态钠的薄壁容器，在地震作用下液钠的晃动和主容器的振动相互作用、相互影响，即为典型的流—固动力耦合现象。

（撰写：陆道纲　审订：张忠岳）

liuhuachuang fenshao

流化床焚烧　fluidized-bed incineration　利用流态化过程焚烧废物的方式。废物经分拣、破碎后，送进惰性介质流化床中。流化炉的燃烧室中 Na_2CO_3 颗粒在压缩空气和 N_2 流中被流态化（温度 525～625℃），废物在那里得到部分焚烧和热解，然后在催化后燃烧室内获得完全燃烧。焚烧产物是灰、催化剂微粒、Na_2CO_3 和 NaCl 组成的干粉。尾气通过旋风分离器和烧结金属过滤器过滤，最后通过多级高效过滤器净化后排出。



流化床焚烧炉

如图所示为日本三菱流化床焚烧炉照片，流化床焚烧的优点是：(1) 用干法进行尾气净化，不用湿洗涤，腐蚀少，设备寿命长，维修次数和废物量少；(2) 焚烧温度较低，有利于钚的回收，适用于超铀废物的焚

烧。缺点是需要经常更换床料。

（撰写：罗上庚　审订：范显华）

liuhuachuang qingfuhua shengchan sifuhuayou

流化床氢氟化生产四氟化铀　production of uranium tetrafluoride with fluidized-bed reactor hydrofluorination　干法制备 UF_4 的一种方法。将颗粒状 UO_2 加入高温状态的流化床反应器时，经预热的无水HF气体也以一定速度自反应器底部通入，使 UO_2 颗粒呈悬浮状运动，同时发生氢氟化反应生成 UF_4。可用单台流化床，也可用两台流化床联合进行生产。前者通常用于间歇生产，后者适用于反应性能相差较大的 UO_2，一般是用于连续生产。两台流化床的工艺流程，按无水HF的流向分为两床并联和两床串联流程。尽管串联流程对设备操作、控制要求较多，但能大幅度降低HF耗量，并能实现高产优质。流化床氢氟化是在干法生产 UF_4 工艺中应用得最广泛的方法之一。

（撰写：隋富志　审订：朱永赌）

liuhua xuanfu chuang lizi jiaohuan

流化[悬浮]床离子交换　fluid [suspension] bed ion exchange　料液以适宜的流速自下向上流动，使树脂呈流化[悬浮]状态并进行离子交换反应的过程。一般来说，该法适用于料液流速大的吸附过程。它广泛应用于处理浑浊液，少数处理矿浆。早期流化床矿浆吸附槽为间歇式操作，即在同一设备内还须完成饱和树脂的反冲洗脱泥、密实床状态下的解吸及洗涤等。20世纪80年代才有多种不同结构的连续逆流多隔室(段)流化床吸附塔从浑浊液中吸附铀的工业装置投产运行，此后又发展了脉动的多段连续逆流流化床矿浆吸附塔，它可从含固量达6%的矿浆中提取铀。　（撰写：许根福　审订：关自斌）

liuliang duozou

流量惰走　flow coastdown　泵失去电源后依靠转子惰转和流动惯性维持流量逐渐下降的过程。压水堆一回路主泵断电后，由于泵轴上的惰转飞轮的转动惯量较大，使泵在断电后的较长时间(约30 s)内还继续惰转，因而泵流量是逐渐降低的。在备用电源投入之前，反应堆剩余功率释热就靠惰走流量来冷却。　（撰写：郝老迷　审订：陈玉宙）

liuqishi damianji gaige jishuguan

流气式大面积盖革计数管　large area flow Geiger counter　盖革计数管的一种，主要用于低能β射线和α射线的测量。制造这类大面积(约30 cm^2)的薄窗计数管，必须利用吹气的方法进行充气，即用工作气体流入管内将其中的空气赶走，当管内空气完全被工作气体替换后，再将计数管封好。常用的工作气体有惰性气体加约10%的酒精或石油醚蒸气混合气。由于所充气体的压力与管外空气压力相接近，计数管的阈电压较高(1500～2000 V)。

（撰写：肖文明　审订：彭华寿）

liutaihua chendian

流态化沉淀　fluidized bed precipitation　应用流态化技术从铀溶液中沉淀重铀酸盐的方法。它是把沉淀铀的化学反应与沉淀产物的粒度分级结合起来。采用不同的设计，在沉淀器内造成一个流化反应区，沉淀物流在该区内沿轴向循环运动，使细小的重铀酸盐晶体有足够的停留时间得以逐渐长大，待达到一定粒度后，在重力作用下，克服上升流体的阻力沉降下来，以沉淀产品排出。我国研制的流态化沉淀塔上部为澄清区，沉淀母液在此澄清后溢出，中段为流化反应区，内设中心管和搅拌桨，实现细晶的塔内循环，塔的下部为粗粒沉淀物的压缩区，压缩后的沉淀物由此排出。采用流态化沉淀技术制取的重铀酸盐产品粒度较粗，比较容易过滤、洗涤和脱水。　（撰写：赵锡熊　审订：许根福）

liuti heshiyan

流体核实验　hydronuclear experiments　含少量裂变材料的热核武器初级中炸药内爆系统的极低威力的全尺度实验。是评估正常爆轰下初级性能与安全性的极低威力核实验,其裂变材料用量远少于形成核爆炸的需用量。在炸药爆轰驱动下，固体与金属将被熔化，像液体那样流动，因此称为流体核实验。这种实验一般在稍稍超临界的极短促的中子增殖情况下进行。实验威力从可以忽略到几千克TNT当量不等。美国在1958～1961年暂停核实验期间曾进行过40多次流体核实验，有一些在洛斯·阿拉莫斯试验室设施的浅井中做，有一些在内华达核试验场做。设定的威力上限为2 kg TNT。这与一点安全标准有关。美国1968年制定的一点安全标准为：主炸药任何一点起爆所产生的核能释放超过4 lb (约1.8 kg) TNT当量的概率小于 10^{-6}。1995年8月4日美国政府公布的能源部JASON顾问小组研究报告称：流体核实验对提高库存武器可靠性的置信度作用不大。

（撰写：郑绍唐　审订：刘恭梁）

liuzhi zhendong

流致振动　flow-induced vibration(FIV)　浸没于流体之中或包容流体的结构部件的表面被流体流动产生的交替变化激振力所诱发的结构响应(振动)。反应堆结构中常见的激振机制及振动形态有：湍流引起的随机振动、管道在横向流中因旋涡脱落引起的振动、圆管在轴向流中的振动、管束中因流速超过临界值而引起的流体弹性失稳、堆芯和管道内部因流速超过一定限值而引起的振动、液面下流体流动所引起的自由表面的晃动等。流致振动往往会导致结构局部区域因微幅振动而引起磨蚀和磨损，也有可能导致结构大幅度强烈振动而造成结构破坏。例如，当横向流旋涡脱落频率与圆管自振频率接近时，圆管就会发生振幅很大的剧烈振动——一种类似于共振的所谓“锁定”(lock in)现象。为了避免在结构设计寿期内因微振磨蚀导致结构失效，应采取相应的改善结构的措施以尽量减小振动幅度，并在结构选材时选用耐磨材料或对材料进行表面处理以强化其抗磨损能力。为了防止管子因旋涡脱落引起的“锁定”现象，应该采取改善结构的措施以阻止旋涡的形成，或使旋涡脱落频率远离结构的自振频率。ASME压力容器设计规范1995年版中，专门为防止发生“锁定”现象制定了设计准则。（撰写：陆道纲　审订：张忠岳）

liuhuaxin shanshuoti

硫化锌闪烁体　ZnS(Ag) scintillator　一种由银激活，由硫化锌制成的无机闪烁体。室温下的一般性质见表。ZnS(Ag)是一种粒度为几微米到几十微米的多晶粉末，对重带电粒子阻止本领大，能量转换效率高，是探测重带电粒子的一种较好的闪烁体。具有探测效率高，易甄别β,γ等优点。内壁涂有ZnS (Ag)的闪烁室常用于测量氡、钍浓度。ZnS (Ag)粉末与中子灵敏物质(如 ^{10}B, ^{6}Li 或含氢物质)混合在一起，可做成

硫化锌 ZnS(Ag)闪烁体的一般性质表

密度/(g/cm³)	4.1
熔点/°C	1850
发射带/nm	450
闪烁衰减时间/ns	200
相对于蒽晶体的光输出/%	300
折射率	2.356

慢中子或快中子闪烁体。ZnS (Ag) 的缺点是闪烁衰减时间较长，能量分辨率差；透明度很差，不能做得很厚。ZnS(Cu)也可用作闪烁体，但使用不多。

（撰写：汲长松　审订：彭华寿）

liusuanyatie jiliangji

硫酸亚铁剂量计　ferrous sulphate (Fricke) dosimeter　基于二价的亚铁离子被辐解产物氧化至三价铁离子而制成的一种化学剂量计。该剂量计是将 2.8 mL 的硫酸亚铁剂量计溶液（即将 1 mmol 的硫酸亚铁或硫酸亚铁铵及 1 mmol 的氯化钠溶解在 0.4 mol 充气的硫酸溶液中）密封在医用玻璃安瓿瓶中而制成的。最早由弗里克 (Fricke) 于1927年用于测定剂量，所以也称 Fricke 剂量计。它是目前化学剂量计中辐解反应机制清楚、剂量学性能最好的一种剂量计，通常可作为辐射加工级剂量标准使用，在我国被认为是工作基准。使用紫外—可见分光光度计在 303 nm 处测定三价铁离子的吸光度值的变化 (ΔA) 可计算出水中吸收剂量值（见下式），其量程为40～400 Gy

$$D_W = \frac{\Delta A}{G\epsilon_m l \rho}$$

式中 D_W 为水中吸收剂量 (Gy)；G 为三价铁离子的辐射化学产额 1.61×10^{-6} mol/J；l 为比色皿中溶液的光程长度 0.01 m；ρ 为剂量计溶液的密度 1.013 g/cm³(25℃)。

（撰写：陈云东　审订：丁声耀）

liufuhuayou

六氟化铀　uranium hexafluoride　铀的惟一稳定的挥发性化合物。UF_6 常温下为近乎白色的固体，有很高的蒸气压，由于氟只有一种同位素 (^{19}F)，UF_6 成为分离铀同位素的理想工作介质。UF_6 具有斜方晶体结构，密度 (25℃) 为 5.06 g/cm³，沸点（升华点）为 56.4℃，三相点温度为 64.02℃。在常压下得不到液态 UF_6。UF_6 极易水解，产生强腐蚀性的 HF，因此要求操作 UF_6 的设备具有良好的密封性及耐蚀性。UF_6 的水解与还原反应用于将 UF_6 转化为 UO_2 和 UF_4，UF_6 的络合反应则用于 UF_6 的净化和由工艺尾气中回收铀。

（撰写：崔秉懿　审订：朱永赌）

liufuhuayou jingliu jinghua

六氟化铀精馏净化　uranium hexafluoride purification by distillation　用精馏技术获得纯 UF_6 的方法。UF_6 的精馏净化是用氟化法由粗制 UF_4 制备核纯 UF_6 的一个重要环节，也是乏燃料氟化挥发法后处理流程中分离铀与裂变产物元素的一种方法。以粗制 UF_4 为原料，氟化法制得的 UF_6 中含有一些钒、钼、钨等金属的挥发性氟化物，它们在液态 UF_6 中有很高的溶解度。UF_6 的精馏净化系基于液态 UF_6 和这些金属氟化物杂质饱和蒸气压的差异。精馏时，MoF_6 和 VF_5 等将在气相中富集而被除去。在铀乏燃料后处理工艺中，在80℃下精馏时，TeF_6，IF_7 等比 UF_6 具有更强挥发性的裂变产物元素富集在精馏柱上部气相中被收集除去；RuF_5，NbF_5，SbF_5 和 $TcOF_5$ 等挥发度比 UF_6 小得多的另一类裂变产物元素则留在蒸馏釜内；UF_6 馏分则在精馏柱的中部收集。

（撰写：崔秉懿　审订：朱永赌）

liufuhuayou shuijie

六氟化铀水解　uranium hexafluoride hydrolysis　UF_6 与水作用生成 UO_2F_2 和 HF 的反应。反应式为



$$UF_6 + 2H_2O \rightarrow UO_2F_2 + 4HF$$

该反应为强放热反应，$\Delta H^0_{298} = -211.3$ kJ/mol。UF_6 的水解反应是 UF_6 的重要化学性质之一。UF_6 极易水解，常温下 UF_6 遇空气中水蒸气而水解发生冒白烟的现象，可用于检查 UF_6 生产系统的密封性。在 −40℃的低温下，UF_6 在空气中的水解作用才不显著。UF_6 的水解反应常用于 ADU 法（湿法）和 UF_6 高温水解—还原法、UF_6 中温水解转化 $-U_3O_8$ 氢还原法、UF_6 中温水解 $-UO_2F_2$ 氢还原法等干法生产陶瓷级 UO_2 粉末的工艺，也用于将 UF_6 湿法转化为 UF_4 的工艺。UF_6 的水解反应还被用于由 UF_6 生产厂排放的工艺尾气中回收其中所含的微量 (0.05%～0.10%) UF_6。

（撰写：崔秉懿　审订：朱永赌）

liufuhuayou xifu jiexi jinghua

六氟化铀吸附解吸净化　uranium hexafluoride purification by sorption-desorption　利用气固相吸附反应获得纯 UF_6 的方法。UF_6 中铀的配位数未饱和，与 NaF，KF，AgF 等可生成 $3NaF \cdot UF_6$，$3KF \cdot UF_6$，$3AgF \cdot UF_6$ 等复盐。利用气态 UF_6 与其他挥发性杂质在烧结活性NaF吸附剂上等温吸附平衡的差异，可使 UF_6 得到净化。在 100～200℃温度下，UF_6 可被 NaF 选择性吸附，与不被吸附的挥发性杂质（如 IF_7、TeF_6 等）分离；在 400℃下以惰性气体通过负载铀的 NaF 吸附床，UF_6 被解吸到气相，收集在冷阱中。在解吸阶段，UF_6 与不被解吸的锆、铬、锶、铯等裂变产物元素的氟化物获得分离。

（撰写：崔秉懿　审订：朱永赌）

liufuhuayou zhuanhua

六氟化铀转化　conversion of uranium hexafluoride　把富集或贫化后的 UF_6 转化成金属铀或 UO_2 的过程。由 UF_6 制备金属铀，首先要转化 UF_6 为 UF_4，然后用钙或镁热还原。目前工业上多以氢还原法或四氯化碳还原法将 UF_6 转化为 UF_4。工业制备 UO_2 的方法分湿法和干法。湿法是在水溶液中 UF_6 先转化为重铀酸铵 (ADU) 或三碳酸铀酰铵 (AUC)，然后进行热解、还原转化为 UO_2。干法是在高温下气态 UF_6 在反应器内同水蒸气（或 O_2）和 H_2（或 NH_3）等进行反应转化为 UO_2。湿法过程在技术上比较成熟，对原料的适应性强。干法技术尚处于发展中。（撰写：隋富志　审订：朱永赌）

liujiaoxing waitaoguan

六角形外套管　hexagonal wrapper tube　横截面为正六角形的快中子堆燃料组件盒。它的功能是：为燃料棒束提供结构支承；按组件发热量分配冷却剂流量；防止组件中出现燃料棒破损事件向周围蔓延。迄今多数外套管是由 316 型奥氏体不锈钢圆管形坯料，经冷拔制成的，其对边距尺寸取决于组件内燃料棒的数量。316 型奥氏体不锈钢外套管的主要缺点是，在堆内使用时发生空洞肿胀，从而引起外套管变形，影

响组件的寿命。采用不含镍的铁素体不锈钢做外套管，由于该材料几乎不发生辐照肿胀，因此可以提高燃料组件的寿命。

（撰写：张汝娴　审订：李文埮）

louceng xiangyingpu

楼层响应谱　floor response spectra　建筑物各楼层对特定地震激励的响应对应于频率的曲线。它通常即为具有不同自振频率的单自由度系统的最大响应的包络线，可作为支撑于各层楼板上设备或管道抗震分析的地震输入。制作楼层响应谱的方法有 Biggs 法、随机振动法、时程法等，其中时程法应用最广。楼层谱“刚性”段（频率大于等于 33 Hz 区段）的“零周期”加速度，被取为该楼层的最大加速度（参见设计响应谱）。

（撰写：黄经绍　审订：张忠岳）

lu

铲　rutherfordium　一种人工放射性元素，化学符号 Rf，原子序数 104，属周期系Ⅳ B 族。为纪念英国科学家 E.卢瑟福（Rutherford）而命名。半衰期最长的铲同位素是 ^{261}Rf (65 s)。1964 年苏联Г.Н.弗廖罗夫（Флёров）等用重离子回旋加速器加速能量为 113～115 MeV 的氖离子（^{22}Ne）轰击钚靶，通过 ^{242}Pu (^{22}Ne，4n) ^{260}Rf 核反应合成了半衰期为 0.3 s，自发裂变方式衰变的 ^{260}Rf。后来美国科学家先后合成出 ^{257}Rf，^{259}Rf 和 ^{261}Rf。前苏联科学家证明了 Rf 不属于三价锕系元素，而属于周期系Ⅳ B 族。1970 年美国科学家使合成的 Rf 通过阳离子交换柱进行离子交换分离，证明 Rf 的水溶液行为完全不同于三价和二价的锕系元素，而与四价的锆、铪相似。

（撰写：张志尧　修订：罗文宗　审订：崔安智）

luji hebaozha jiance xitong

陆基核爆炸监测系统　land nuclear burst monitoring system　又称陆基核爆炸探测系统。由陆地或陆上机动平台支撑（或运载）的核爆炸监测（探测）装备组合的总称。按探测地幅的大小划分为近距离、中距离和远距离的探测。按监测目的划分为国土防御、核反击效果评估和禁核试履约核查。近距离探测系统的探测半径一般不超过数十千米，主要用于国土防御战术作战保障。特点是机动性强、战场生存能力强、测量参数多且测量结果准确度高。系统可与合成军战术自动化指挥系统联网。中距离探测系统的探测半径可达数百千米，主要用于国土防御战役作战保障。特点是通常在固定状态下执行任务，具有一定机动能力，一般不随前沿交战态势变化而机动；测量准确度稍差；通常不能测量爆炸高度（深度），但有可能判断爆炸方式。系统可与战区自动化指挥系统联网。远距离探测系统的探测半径为数千千米，主要用于战略作战指挥、核反击效果评估和禁核试履约核查。特点是测量参数较少，测量准确度较差，通常只能概略地确定爆炸时间、爆心投影点位置和爆炸威力。硬件多为大型固定设备，其中也有可移动部分。全系统展开工作时呈多站分布状态，一般不整体机动。

（撰写：王良厚　审订：毛用泽）

lü he lühejin

铝和铝合金　aluminium and aluminium alloys　铝和以铝为基材加入其他元素组成的合金。铝的热中子吸收截面小（0.22 b），又有适当的强度和低温耐水腐蚀性及良好的延性和导热性能。但因它的熔点低，在高温水中耐腐蚀性差，所以纯铝只用作弥散型燃料的基体材料。铝合金可用作低温和中温水冷堆的包壳材料和堆芯结构材料。如：工业纯铝系（2 S 合金），用作反应堆（100℃以下）的壳体、工艺管等；Al–Fe–Si 系，用作水冷堆（150℃）天然铀燃料元件的包壳；Al–Ni–Fe 系（X8001）可工作到 200℃；Al–Mg–Si 系（6061 合金），高温强度好，可用作研究堆压力容器。铝及铝合金构件表面进行阳极氧化处理可提高耐蚀性和耐磨性。为了降低铝合金的均匀腐蚀速率，一回路冷却水的 pH 值需保持在 5.5～6.5 之间，并尽量减少铁、铜、氯等离子的含量。使用铝合金作堆芯构件时，要严格控制镉、硼和锂等中子吸收截面大的杂质元素含量。

（撰写：王树人　审订：李文埮）

lüli hejin

铝—锂合金　aluminium–lithium alloy　以铝为基材，加入锂组成的合金。它是工业产氚的原料和航空航天的结构材料。^{6}Li 的热中子吸收截面大，采用 ^{6}Li 靶件可获得较高的产氚量。但是，锂的熔点低（181℃），化学性质非常活泼，制靶时需要除气，难度很大。故必须用其合金制作产氚靶件。与氟化锂等靶件材料相比，铝锂合金在辐照时不易变形、肿胀和破裂，在较高的中子注量率、较长时间的辐照下，获得的氚纯度较高。与镁锂合金靶相比，铝的化学活性比镁低，熔点高，机械性能好，辐照稳定性也很好，又易获得纯度较高的铝。氚在铝中的溶解度及扩散量远比在镁中小。因此，铝锂合金是一种较好的生产氚的靶件材料。但锂在铝中的溶解度较小，在合金中添加的锂应有一定的限量。天然锂中的 ^{6}Li 含量仅占 7.52%。因此，制备铝锂合金的锂应先经富集。

（撰写：卢浩琳　审订：韩廷德）

lüyan

绿盐　green salt　绿色的 UF_4 晶体，是铀工艺中 UF_4 的俗称。UF_4 是生产核燃料的重要中间产品，用于制备六氟化铀和金属铀。无水 UF_4 有两种晶型。在 833℃以下具有单斜结构；高于 833℃时转变为β型结晶。UF_4 的工业制备一般有湿法和干法。湿法即氢氟化沉淀法，酸性溶液中的六价铀先被还原成四价，然后与一定浓度的氢氟酸作用沉淀 UF_4，所得 UF_4 水合物需进一步干燥并在 400℃以上脱水。干法是用 UO_2 粉末与氟化氢气体在 500～700℃的温度下反应转化为 UF_4。UF_4 的化学性质相当稳定，只有在温度高于 800℃时才与氧发生反应。UF_4 在 250～400℃时可与氟反应生成 UF_6，这是迄今工业上生产 UF_6 氟耗量最小的重要反应。用金属钙、镁在高温下可把 UF_4 还原成金属铀，制成核燃料元件。

（撰写：赵锡熊　审订：许根福）

luogan jiyaji

螺杆挤压机　screw extruder　又称挤压机／蒸发器。在放射性废物沥青固化、塑料固化工艺中用作混料—蒸发的设备。一般采用排气式双螺杆挤压机，也有采用排气式四螺杆挤压机。排气式双螺杆挤压机主要由两个不等距螺杆（包括一段加料段、几段压缩段和蒸发段以及一段排料段）和分段加热的外筒所组成。沥青和放射性浓缩液或废树脂分别加入到加料段后，为互相啮合，同向旋转的双螺杆不断地搅拌和揉合、并且沿着外筒内壁呈薄膜状向前推进，在推进的过程中被加热。在蒸发段水分被汽化，盐分和放射性核素被包容于沥青中，最终在排料段排入固化容器。在采用排气式双螺杆挤压机的沥青固化工艺中，在蒸发段排气筒壁常有沥青混合物膜层附着和盐析

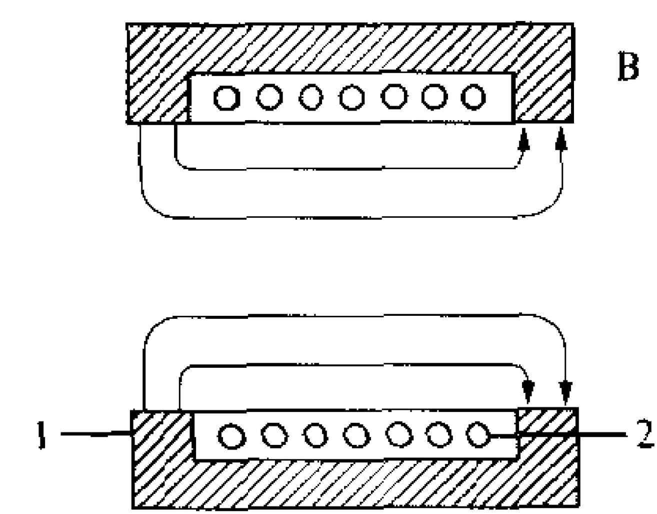
现象，而采用排气式四螺杆挤压机则可避免这一缺点。
（撰写：范显华　审订：孙明生）

luoxuan bodaoqiang

螺旋波导腔　helix resonator (HR)　一种加速重离子的工作在低频（从约一百兆赫低到乃至二三十兆赫）直线加速器用的谐振腔。它由柱状螺线通过两端固定在圆柱腔筒壁上构成。柱状螺线在行波管中用作慢波结构，其特性已经过系统的研究。由于螺线轴线上的电场适于用来加速速度慢的重离子，且腔的直径不大，因此在20世纪六七十年代主要用作重离子加速腔（包括超导腔）。但由于螺线的机械强度低，导致结构的稳定性差，以后终于被稳定性较好的其他重离子加速腔所取代。（撰写：方家训　审订：关遐令）

luoxianguan toujing

螺线管透镜　solenoid　由螺线管产生的轴对称磁场对带电粒子束聚焦和成像的束流光学元件。通常可分为短磁透镜和长磁透镜（见图）。短磁透镜常用于电子束管和电子显微镜中。长磁透镜则常用于强流粒子束的传输。短磁透镜中粒子束的聚焦，主要是通过磁感应场的径向分量的作用而产生的。长磁透镜中对粒子束的聚焦则主要是通过轴向磁感应场分量的作用而产生的。它是一个二次作用的结果，首先磁感应场产生粒子的方位运动，方位速度在磁感应场的作用下产生了横向聚焦力，所以聚焦力正比于磁感应场的平方。

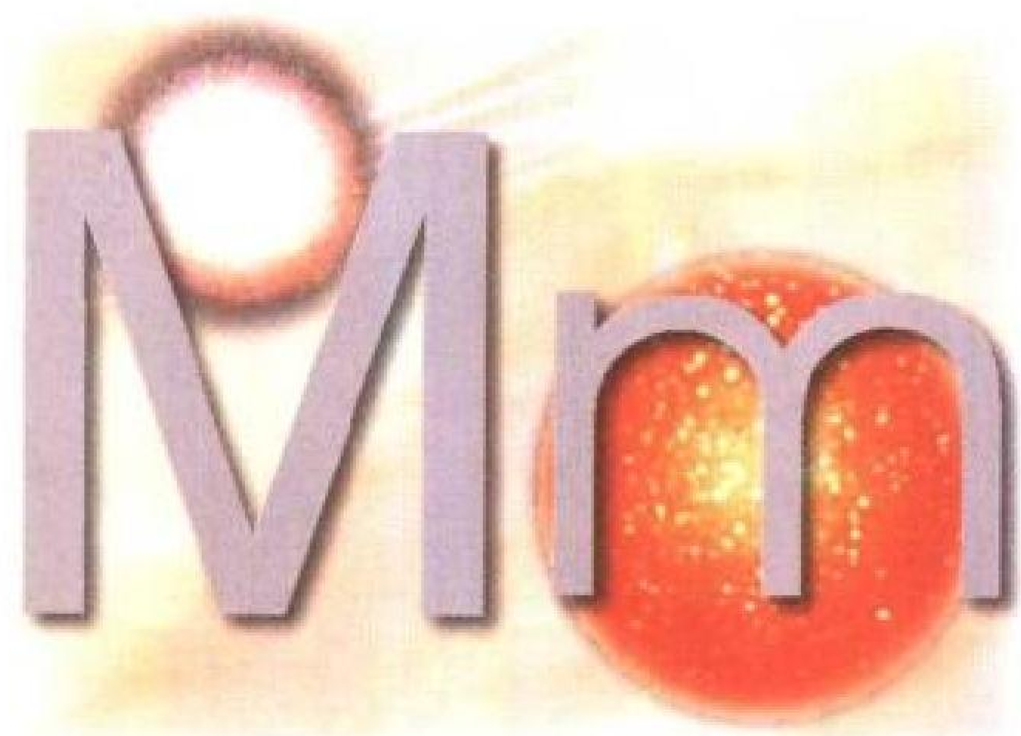


长磁螺旋管透镜
1—磁通回弯铁；2—激磁线圈

（撰写：关遐令　审订：王传英）

luoxuanshan huixuan jiasuqi

螺旋扇回旋加速器　spiral fan cyclotron　见等时性回旋加速器。



M 5 hejin

M–5 合金 M–5 alloy 一种抗腐蚀性能好、辐照生长小、蠕变速率低的 Zr–Nb–O 三元合金。适合于作高性能燃料元件的包壳。M–5 合金与 Zr–4 合金相比，M–5 合金具有如下优点：(1) 在铀燃耗 40000 MWd/t 下，水侧氧化膜厚度可减小至 1/3；(2) 吸氢速率下降至 1/2；(3) 蠕变速率降低至 1/3；(4) 辐照生长减小至 1/2；(5) 在大破口失水情况，仍然满足局部最大氧化量≤ 17% 壁厚的准则。

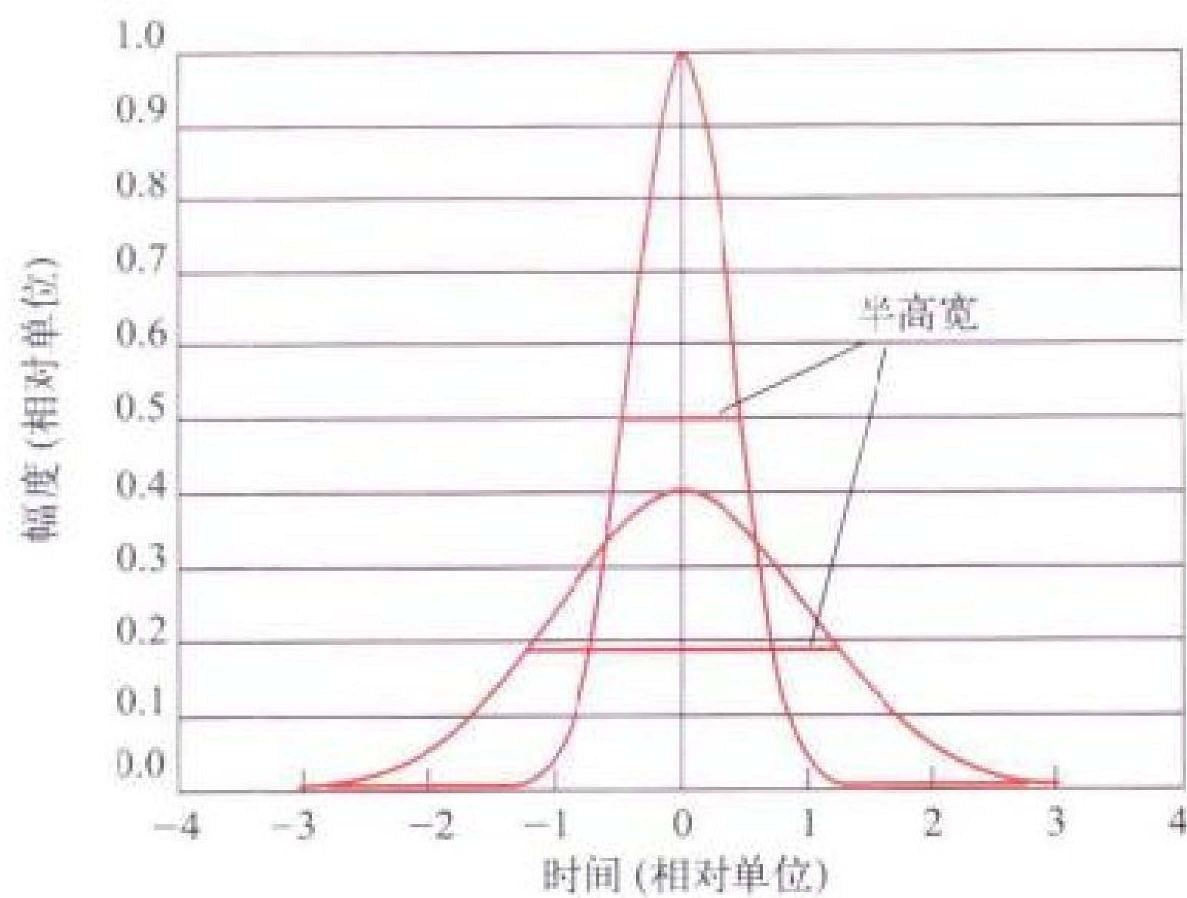
（撰写：张忠岳 审订：黄玉才）

maichong bangaokuan

脉冲半高宽 FWHM 描述加速器脉冲束团粒子密度分布状态的物理量。脉冲半高宽指的是纵向时间分布曲线峰值一半处两点间的全宽度。一般情况下，粒子束团的纵向粒子密度分布服从正态分布即高斯分布，相对于中心粒子是对称的，粒子密度分布函数满足

$$f(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\cdot\sigma}e^{-x^2/2\sigma^2}$$

式中 σ 为标准偏差；脉冲半高宽为 $\mathrm{FWHM}=2\sqrt{2\ln 2}\cdot\sigma$。如图所示的分布曲线就是对应于不同标准偏差的高斯曲线及其半高宽值。



脉冲半高宽分布曲线图

（撰写：关遐令 审订：王传英）

maichong boxing zhenbie

脉冲波形甄别 pulse shape discrimination 利用不同类型的粒子在某些探测器中产生的电流脉冲形状的不同，甄别粒子的种类或测出同时存在的各种粒子能谱，或者剔除某种本底粒子的技术。在电子电路方面，它大体分两类：电荷比较和时间比较。前者利用冲激亏损的不同，后者利用过零时间的不同。电荷比较法依据不同粒子产生的电流脉冲面积相同，衰减时间常数不同，它们通过电流积分器后，若电路时间常数与大衰减时间接近，则该粒子产生的输出电压将有较大的冲激亏损。此法比较的是电荷密集程度的不同。时间比较法是用前沿时检得到信号输入的时间原点 t_L，过零时检得到过零时间 t_z，调节时间原点的延迟 t_d，使 $t_z\approx t_d$ 的信号产生符合输出。t_L 和 t_z 的时间差，变换成幅度信息，用单道分析器选择，能实现按信号达峰时间不同分选粒子。另一种时间比较法是利用两个恒比甄别器测定上升时间，由上升时间来甄别波形（参见上升时间幅度变换器）。 （撰写：倪建平 审订：席德明）

maichong cuiquta

脉冲萃取塔 pulse extraction tower 向萃取塔内输入正弦波脉冲，使塔内液体作快速的往复运动，以同时增加湍流和界面面积，大大改进了传质效率。脉冲塔内的纵向混合较机械搅拌萃取柱小，这就使理论级当量高度或传质单元高度大大降低。此外，由于采用脉冲搅拌，萃取塔内没有运动部件，因而对处理强腐蚀性和强放射性的物料特别有用。可分脉冲填料萃取塔和脉冲筛板萃取塔（见图）。

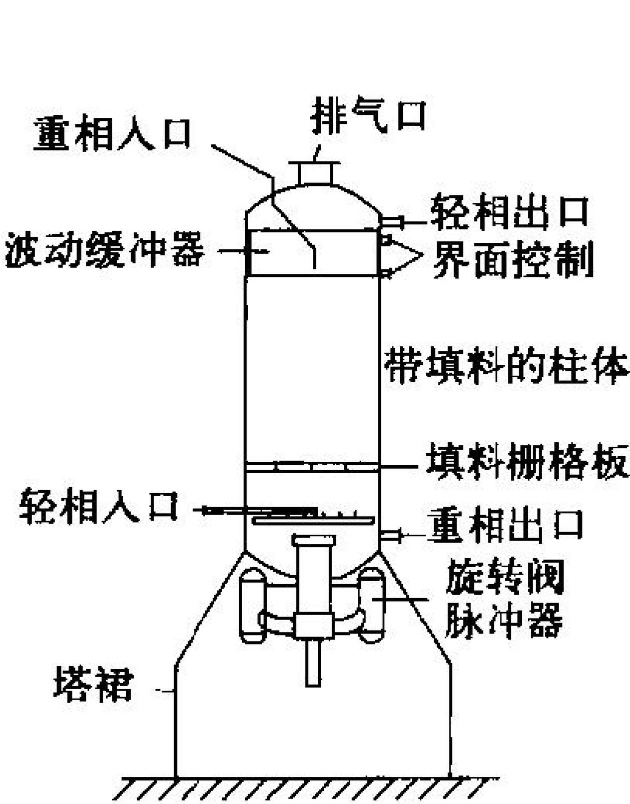


图 1 脉冲填料萃取塔

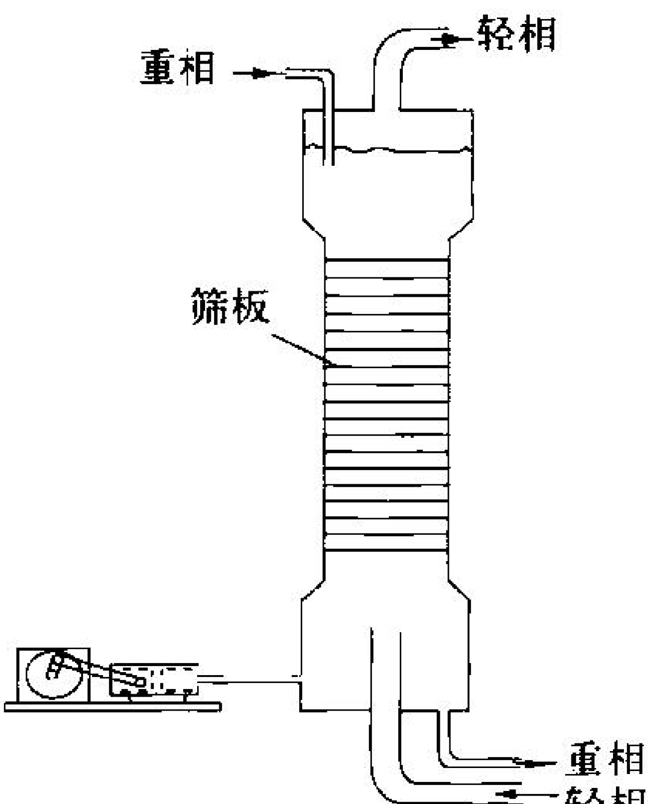
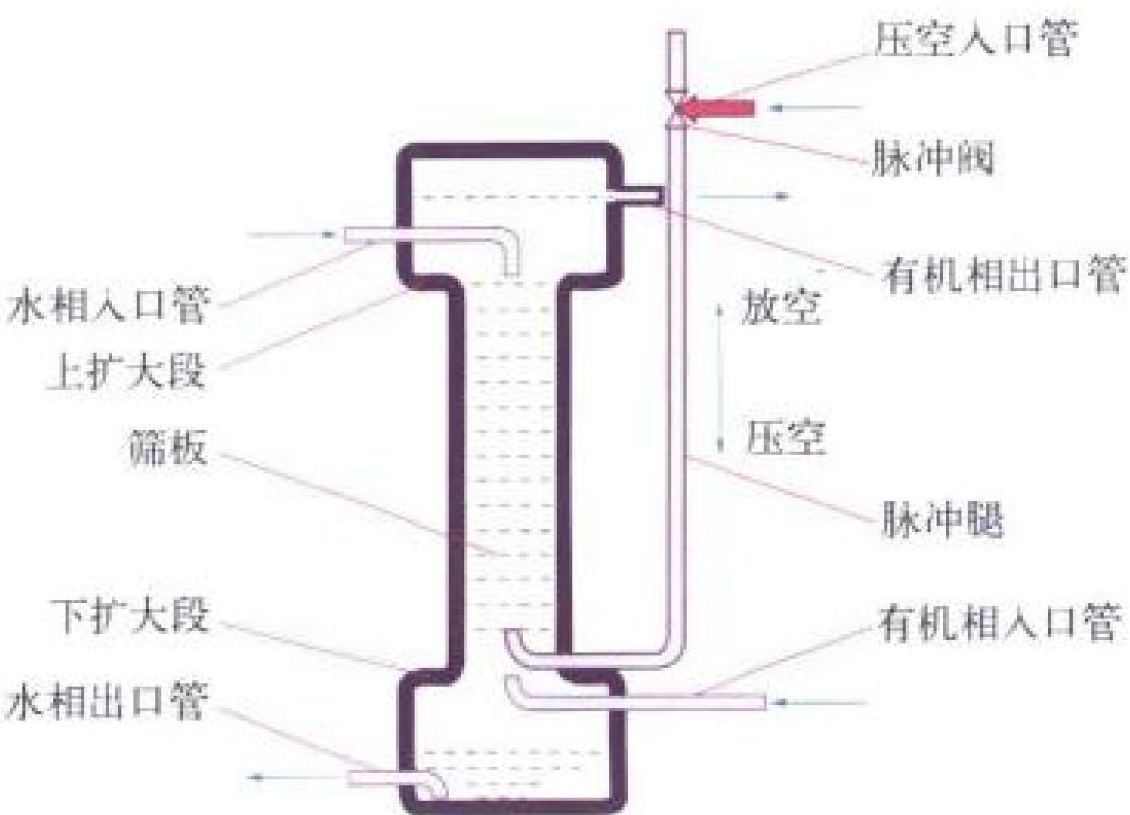


图 2 脉冲筛板萃取塔

（撰写：牛玉清 审订：程光荣）

maichong cuiquzhu

脉冲萃取柱 pulse extraction column 以脉冲形式输入能量，使液体产生脉动的萃取柱。它是柱式萃取设备的一种，可分为脉冲筛板柱（柱内装有筛板）和脉冲填料柱（柱内装有填料）。对后处理选用的脉冲筛板柱而言，它由上扩大段、下扩大段、板段、脉冲腿等部分组成（见图）。由于脉冲萃取柱（筛



脉冲萃取柱示意图

板柱）结构简单、操作方便、柱内无运动部件，并具有溶剂停留时间较短、溶剂辐照降解小，对固体颗粒有自清洗作用及易于几何临界安全控制等特点，它特别适用于乏燃料后处理过程共去污循环与钚纯化循环。

（撰写：杨祖辉　审订：郑华铃）

maichong dianlishi

脉冲电离室　pulse ionization chamber　以电脉冲形式提供信号的电离室。主要用来测量单个粒子的性能，一般又分为离子脉冲电离室和电子脉冲电离室两种类型。前者的输出回路时间常数大于正、负离子的收集时间，其输出脉冲幅度与粒子在灵敏区内所产生的离子对数成正比，但它的缺点是易受环境干扰影响，不大使用；后者的输出回路时间常数远小于正离子的收集时间，但大于电子的收集时间，产生的电脉冲主要是由电子运动引起的。由于电子脉冲电离室的时间常数小，它不易受到环境的干扰、计数率容量高，较受重视。但普通结构的电子脉冲电离室的脉冲幅度与粒子入射在室内的位置有关，不能用于粒子的能谱测量，只能用于强度测量。

（撰写：肖文明　审订：彭华寿）

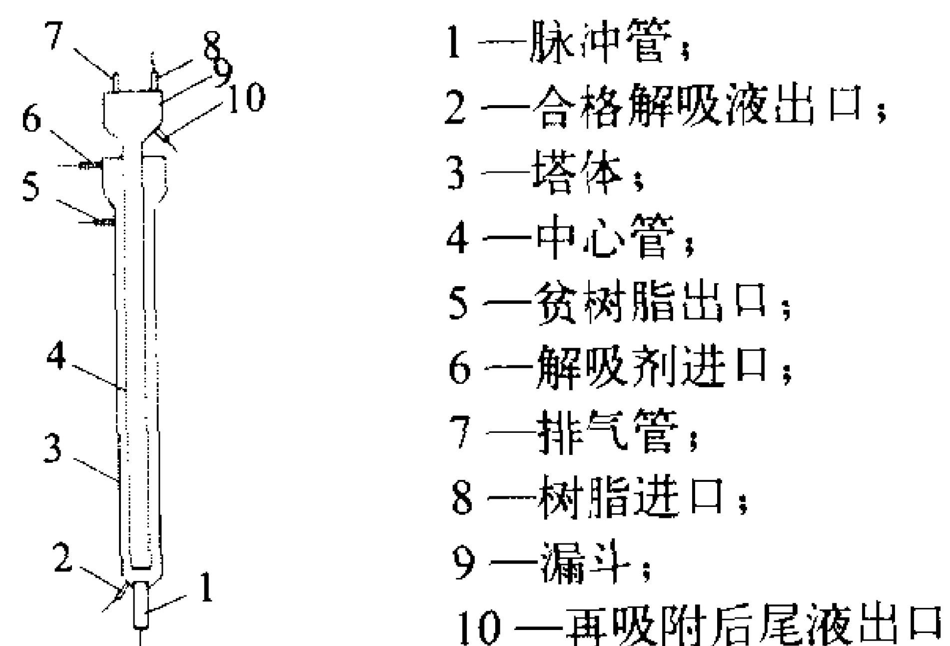
maichong gaodianya

脉冲高电压　impulse high voltage　电压从零很快上升至很高电压（几千伏到几兆伏）并维持较短时间（几纳秒至几毫秒）后又降至零的脉动电压。自然界的雷电放电过程就是脉冲高压放电过程。在电力系统中所用的冲击电压发生器就是典型的脉冲高压产生器。用此脉冲高电压来检验各种高压电气设备在雷电压或操作过电压下绝缘性能和保护性能。标准雷电冲击电压波波头为 1.5 μs，波尾为 40 μs。将 Marx 发生器与脉冲形成线相结合，使脉冲高压向又快又短的方向发展。如高功率粒子束加速器的脉冲高压，上升时间几十纳秒，持续时间几十到几百纳秒，输出功率达 10^{14}W。脉冲高压在国防、科研及工业中有着广泛的应用。

（撰写：杨大为　审订：王乃彦）

maichong jiexi linxi ta

脉冲解吸（淋洗）塔　pulse desorption (elution) column　借助脉冲使饱和树脂周期性地以密实状态从塔底逐渐向上移动，并与自上而下流动的解吸剂接触以完成解吸作用的装置（见图）。贫树脂从塔上部排出，合格解吸液从塔底排出。在该塔



脉冲解吸塔示意图

内还同时进行了饱和树脂再吸附：饱和树脂从塔顶树脂斗底下的中心管相应地下移至塔底的过程中，与通过虹吸作用自下向上流动的部分合格解吸液接触。在这两个过程中，密度大的物料（树脂及溶液）在下部、密度小的在上部，这样就避免了相反情况下会出现的纵向返混，它是一种效率很高的先进的连续逆流解吸塔。

（撰写：许根福　审订：关自斌）

maichong liziyuan

脉冲离子源　pulsed ion source　产生并从中引出脉冲化离子束的离子源。脉冲宽度、脉冲功率（或流强）及脉冲重复率（或占空比）是引出离子束的主要性能参数。针对不同应用领域的要求，可以分别强调短脉冲时间结构，或者瞬间脉冲功率（或流强），或者作为能量源而需要的长脉冲高功率束、因而各种类型脉冲离子源的原理与结构的差异很大。多数普通离子源均可工作在脉冲模式，以提高瞬间流强和高电荷态离子产额、降低离子源功耗和简化高压绝缘等，这种离子源已广泛用于各种脉冲运行的离子加速器。

（撰写：赵渭江　审订：关遐令）

maichong zhankuanqi

脉冲展宽器　pulse stretcher　一种将输入脉冲展宽成具有一定宽度而且保持其幅度不变的电子电路。脉冲展宽器一般置于多道脉冲幅度分析器的模数变换器前面，使尖顶形脉冲变成平顶形脉冲，以改善幅度分析器的响应特性，提高幅度测量的精度。

（撰写：刘杰　审订：席德明）

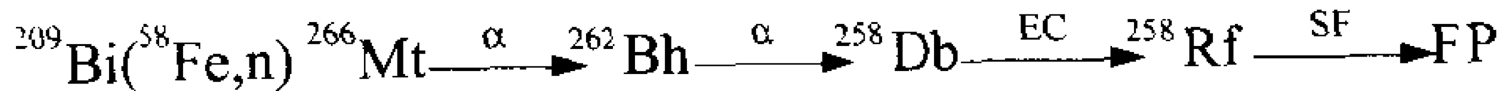
maizhuang youkuangchuang

脉状铀矿床　vein uranium deposit　充填、胶结变形和碎裂岩石中的节理、裂隙、角砾和网脉，呈脉状、网脉状、透镜状、席状或浸染状的铀矿脉组成的铀矿床。脉状铀矿床在成因上、空间上常与花岗岩类岩体有关，也可产在花岗岩体外带或远离岩体的沉积岩或变质岩中。铀矿化的围岩常发育明显的蚀变。脉状铀矿床的主要铀矿物为沥青铀矿和铀石，伴生各种硫化物和赤铁矿，脉石矿物有石英、碳酸盐、绿泥石、萤石等。矿石品位一般为 0.1% ～1%，单条矿脉含铀在几吨至几百吨，由多条矿脉组成的矿床资源量一般为几百吨至几千吨，大者可达数万吨。

（撰写：陈祖伊　审订：赵凤民）

mai

鿏　meitnerium　一种人工放射性元素，化学符号 Mt，原子序数109，属周期系Ⅷ族。为纪念瑞典科学家L.迈特纳（Meitner）而命名。1982 年联邦德国 G. 明岑贝（Munzenborg）等用加速器加速的铁离子（^{58}Fe）轰击铋靶，通过 ^{209}Bi (^{58}Fe, n) ^{266}Mt 核反应合成了 ^{266}Mt。在长达一星期的轰击合成实验中，总共使用了 6 × 10^{17} 个离子，只获得一个新元素原子，合成反应截面为 10^{-35} cm^2，在 ^{266}Mt 合成后 5 × 10^{-3} s 时射出了具有 11.10 MeV 能量的 α 粒子。他们就是利用这惟一的事件成功地用四种不同方式进行了鉴定，尤其是用测量 ^{266}Mt 的衰变链子体的方法，确证 Mt 的合成。



$$^{209}\mathrm{Bi}(^{58}\mathrm{Fe,n})\,^{266}\mathrm{Mt}\xrightarrow{\alpha}{}^{262}\mathrm{Bh}\xrightarrow{\alpha}{}^{258}\mathrm{Db}\xrightarrow{\mathrm{EC}}{}^{258}\mathrm{Rf}\xrightarrow{\mathrm{SF}}\mathrm{FP}$$

（撰写：张志尧　修订：罗文宗　审订：崔安智）

manhua changdu

慢化长度　slowing-down length　慢化面积的平方根。它的大小正比于中子从产生点（具有裂变能）到慢化到某一特定能量（通常为热能区的上限）时所在那个点的直线距离。

（撰写：何可学　审订：许谨诚）

manhuaji

慢化剂 moderator 反应堆内用于与中子发生散射碰撞从而降低中子速度(能量)的材料。反应堆内裂变中子具有相当高的能量,平均约为 2 MeV。热中子反应堆主要依靠能量低于 1 eV 的低能中子(热中子)引起 ^{235}U 原子核裂变。慢化剂主要是通过其原子核与高能中子的散射碰撞使中子动能逐渐降低。慢化剂应主要包含轻元素组分,常用的有水、重水、铍、石墨等。快中子反应堆内没有慢化剂。

(撰写:薛小刚 审订:史永谦 许汉铭)

manhuaji ranliao bi

慢化剂—燃料比 moderator-to-fuel ratio 反应堆堆芯内慢化剂与燃料的体积比。在以水为慢化剂、铀为燃料的反应堆中,慢化剂—燃料比称为水—铀比。由于水中的氢核对中子慢化起主要作用,因此常采用 H 和 ^{235}U 的核密度之比 N_H/N_{U-5} 来表示,称为 H-U 比。该量是确定反应堆栅格几何形状的重要依据之一。当 N_H/N_{U-5} 增加时,栅格的无限介质中子增殖因子 k_∞ 先是增大,在 k_∞ 达到最大后又减小。从安全角度看,实际反应堆栅格的 N_H/N_{U-5} 值必须选在 k_∞ 最大值的左边。这时当温度升高、水密度下降时,N_H/N_{U-5} 值减小,k_∞ 值就下降,保证了反应堆的安全。

(撰写:薛小刚 审订:史永谦 许汉铭)

manhua mianji

慢化面积 slowing-down area 在无限均匀介质内,中子从产生点(具有裂变能)到慢化到某一特定能量(通常为热能区的上限)时所在那个点的直线距离均方值的六分之一。慢化面积是普遍意义下的中子年龄,与费密年龄理论是否适用无关。慢化面积是描写介质对中子慢化的一个重要参数,其大小直接影响慢化中子的泄漏,从而影响反应堆的临界体积和控制棒的效率。 (撰写:何可学 审订:许谨诚)

manzhongzi

慢中子 slow neutron 动能低于某个指定值的中子。该值可因不同的研究对象(如反应堆物理、屏蔽或剂量学)而异。在反应堆物理中,这个值通常选为 1 eV;在剂量学中,常用有效镉截割能(约0.6 eV);在中子核反应研究中,则常选为 1 keV。在慢中子能量区域内,还可细分为:共振中子,其能量位于共振能区;超镉中子,其能量高于有效镉截割能;超热中子,其能量大于热中子的能量(0.025 eV)等。除镉截割能外,其他的能量界线不十分明确。这个能区的核反应截面与中子能量关系的鲜明特征是有分立的窄共振峰。

(撰写:李景文 审订:丁大钊)

manzhongzi liebian

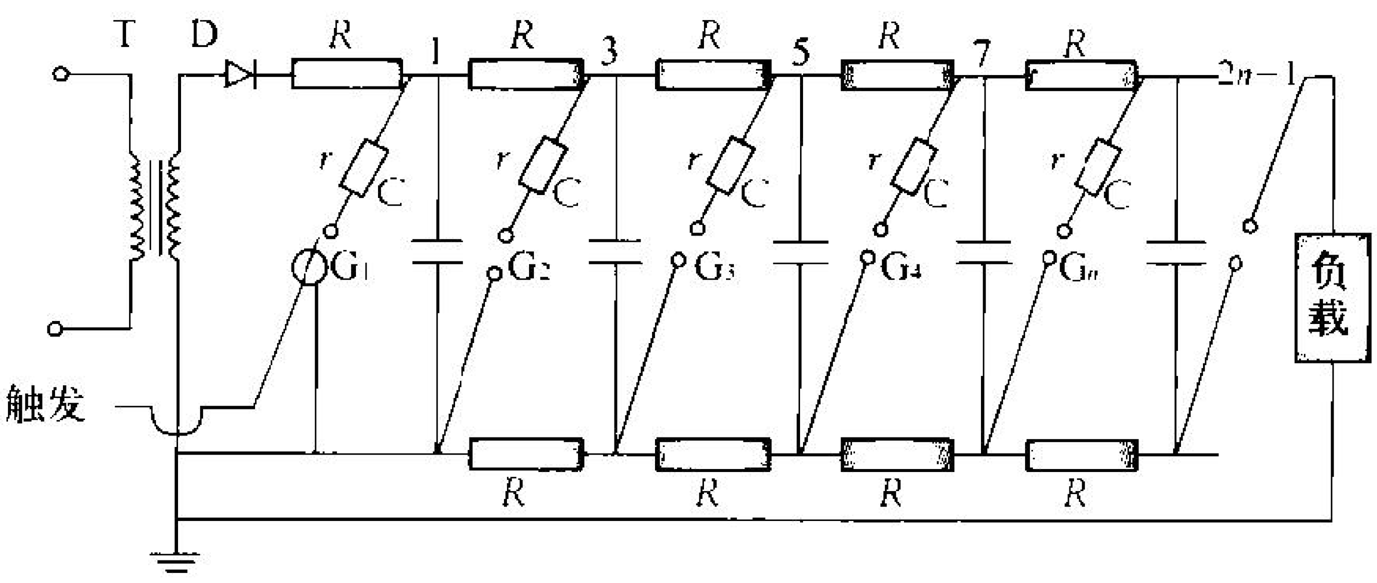
慢中子裂变 slow-neutron induced fission 能量为0.005 eV~1 keV 的中子引起易裂变核素的裂变。中子能量低于0.005 eV 引起的裂变不包括在这个定义之内的原因是近年来把这些中子细分为冷中子(E_n < 0.005 eV),甚冷中子(E_n<10^{-4}eV)和超冷中子(E_n<10^{-7}eV)。对于能量低于 1 eV 的慢中子,裂变截面 σ_f 反比于中子速度 v,即 $\sigma_f \propto 1/v$。当能量为0.1eV<E_n<1 keV 的中子引起 ^{235}U 和 ^{239}Pu 等重核裂变时,截面会出现一系列尖锐的共振峰。维持热中子反应堆裂变链式反应的中子基本上是属于能量低于 1eV 的慢中子。

(撰写:韩洪银 审订:张焕乔)

marx gaoya fashengqi

Marx高压发生器 Marx high voltage generator 又称冲击电压发生器。它的工作原理是对储能电容器进行并联充电,通过火花隙开关使之串联放电,从而使电压倍加来获得高的脉冲电压输出。经典的 Marx 高压发生器线路如图所示。变压器 T 和整流器 D 组成的高压直流电源将各级电容 C 充电至电压 V,各球隙开关 G_i 两端电位差也为 V,在充电过程中球隙开关自击穿电压稍大于 V。当外加脉冲信号触发 G_1 时,间隙 G_2, …, G_n 依次在电压 2, …, nV 作用下全部击穿,通过球隙开关以串联方式倍加起来,通过主开关输出 $-nV$ 脉冲高压给负载。

Marx 发生器最早用于雷电冲击电压实验。Marx 发生器与脉冲形成线相结合,使输出脉冲宽度压缩至几十纳秒。目前单台 Marx 发生器最高储能为 1.25 MJ;输出电压 18 MV。



经典的 Marx 高压发生器线路图

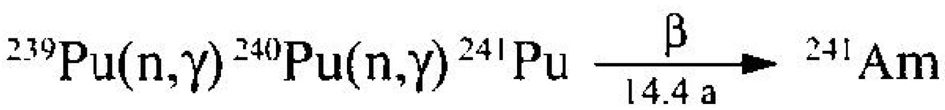
(撰写:杨大为 审订:王乃彦)

meixing youkuang kaicai

煤型铀矿开采 uranium-bearing coal deposit mining 针对煤型铀矿床的特点,其工艺技术既要满足煤矿开采技术要求,又要满足铀矿开采技术要求的一种铀矿开采方法。如采煤中要防火、防瓦斯、防水;采铀中要防放射性;铀矿体品位低、分散,千方百计降低损失与贫化;以及地表三废治理等工艺技术,都需满足。 (撰写:王开华 审订:李开文)

mei

镅 americium 一种人工放射性元素,化学符号 Am,原子序数 95,属锕系元素,半衰期最长的同位素是 ^{243}Am(7370 a)。镅以发现的所在地美洲(America)而命名。1944 年 G.T.西博格(Seaborg)等在经过中子长期辐照钚中发现 ^{241}Am。其形成过程是



$$^{239}Pu(n,\gamma)\,^{240}Pu(n,\gamma)\,^{241}Pu \xrightarrow[14.4\ a]{\beta} {}^{241}Am$$

镅原子的电子构型是$(Rn)5f^7 6d^{10} 7s^2$,在水溶液中有+3~+6四种氧化态;+3 氧化态最稳定。含有 ^{241}Pu 经过长期存放的纯钚是生产 ^{241}Am 的重要原料。从轻水堆乏燃料的后处理高放射性废液中也可提取到 ^{241}Am 和 ^{243}Am 的混合物。镅同位素中用途最大的是 ^{241}Am。它可用于制造镅—铍中子源,^{241}Am 的软 γ 射线特别适用于低密度材料的 γ 探伤照相。此外还可用于密度测定仪和用作 X 射线荧光分析仪的激发源。^{241}Am还是制取 ^{242}Cm 的原料。^{243}Am 是在高通量反应堆中制造超钚元素锫、锎、锿、镄的原料。

(撰写:林漳基 修订:罗文宗 审订:崔安智)

mei ju de tiqu

镅(锔)的提取 extraction of americium (curium) 可称量的

^{241}Am 和 ^{243}Am 与 ^{242}Cm 和 ^{244}Cm 的提取过程。因为镅和锔的这几种同位素可以较大量地制备，而且用途也较大。每吨燃耗为33 000 MWd/t 的低浓铀轻水堆乏燃料含 ^{241}Am和 ^{243}Am 250～300 g，含 ^{242}Cm 和 ^{244}Cm 约 60 g，后处理时 99% 以上的镅锔进入高放废液。从高放废液中提取镅（锔）比较困难，通常用萃取法将镅（锔）及裂变产物镧系元素一起与其他裂变产物（及钚）分离，再将镅（锔）与镧系元素分离，最后分离镅（锔），分别得到纯镅和锔。^{241}Am 是 ^{241}Pu 的 β 衰变产物，可以从含有 ^{241}Pu 的钚中提取 ^{241}Am。可称量的 ^{242}Cm 也可以从中子辐照的 ^{241}Am 靶中提取。用中子辐照 ^{239}Pu，^{242}Pu 或 ^{243}Am 靶可以生成 ^{244}Cm，最常用的分离提取方法是离子交换法和溶剂萃取法。（撰写：叶国安　审订：朱永赌）

meici liebian zhongzi chan'e

每次裂变中子产额 neutron yield per fission　每次裂变放出的中子数目的平均值，即通常所说的裂变 ν 值，它为瞬发中子数 ν_p 和缓发中子数 ν_d 之和。裂变是一个随机过程，从一个裂变事件到另一个裂变事件，碎片种类和激发能可以有很大的变化，即每次裂变事件发射的瞬发中子数目有概率分布，是一个宽度近似为 1.08 的高斯函数，其平均值是一个重要参数。经实验测定，热中子引起 ^{235}U 和 ^{239}Pu 裂变的 ν 值分别为 2.4251 ± 0.0034 和 2.877 ± 0.006。正因为每次裂变放出的中子数大于 1，才有可能实现自续的链式裂变反应和裂变核材料的增殖。（撰写：韩洪银　审订：张焕乔）

Mei E guanyu jinyibu xuejian he xianzhi jingongxing zhanlüe wuqi tiaoyue

《美俄关于进一步削减和限制进攻性战略武器条约》 Treaty between the United States of America and the Russian Federation on Further Reduction and Limitation of Offensive Strategic Arms　简称美俄《第二阶段削减战略武器条约》（START Ⅱ Treaty）。1993 年 1 月 3 日美国总统布什和俄罗斯总统叶利钦在莫斯科签署，自双方交换批准书之日起生效。只要美、苏《第一阶段削减战略武器条约》有效，该条约就一直有效。条约包括序言、8 条正文和 3 个附件。主要内容是：到 2003 年 1 月 1 日前，美、俄双方将分两个阶段把各自部署的洲际弹道导弹、潜射弹道导弹和重型轰炸机所载核弹头总数削减到3000～3500枚，其中潜射弹道导弹弹头不超过1700～1750枚，而包括重型洲际弹道导弹在内的陆基多弹头洲际弹道导弹将全部销毁。START Ⅱ 条约基本上承袭了 START Ⅰ 的核查安排，只是取消了其中的核武器计数规则，为解决和履行与所承担的义务有关的问题，还将成立双边执行委员会，监督履约。

该条约将使美俄双方核武库削减三分之二，是核裁军领域削减幅度最大的一项条约。它的签署标志着美、俄核裁军谈判进入了一个新阶段。美国于1996 年批准了《第二阶段削减战略武器条约》，俄罗斯国家杜马于 2000 年 4 月 14 日批准了《第二阶段削减战略武器条约》，但强调，如果美国部署违背《反导条约》的“国家导弹防御系统”，俄罗斯将退出包括《第二阶段削减战略武器条约》在内的所有核裁军协议。可以预料，该条约的前景依旧充满变数。

（撰写：段占元　审订：唐西生）

Meiguo daodan zhongzi hezhandoubu

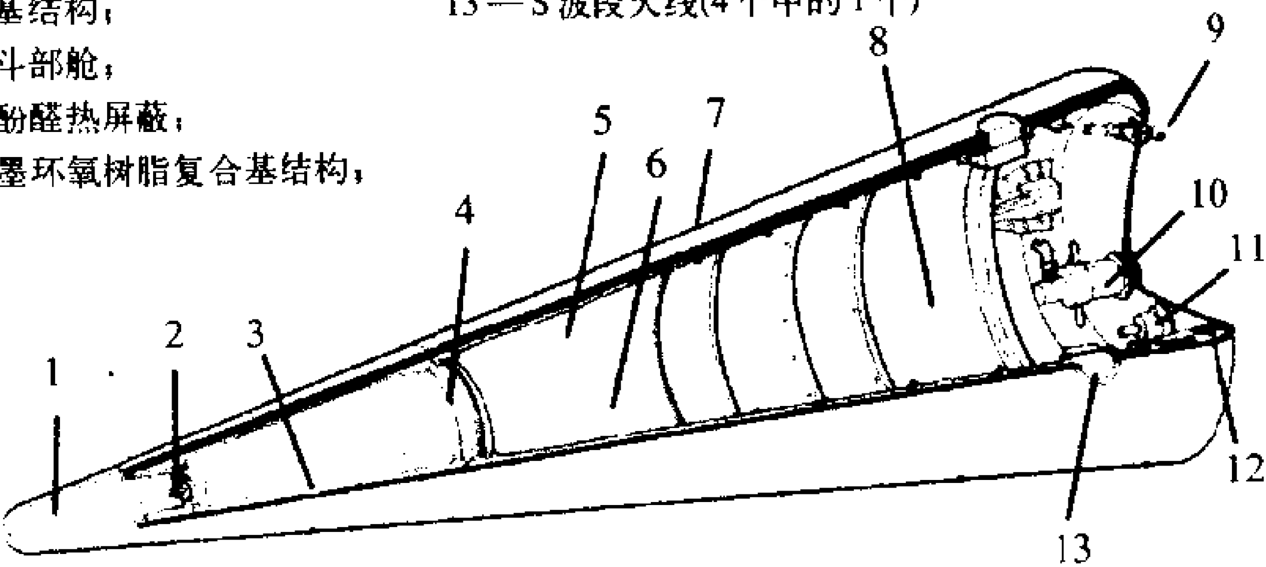
美国导弹中子核战斗部 US enhanced radiation version missile warhead　美国增强辐射型导弹核战斗部。美国陆军的“长矛”战术弹道导弹曾经装备增强辐射型的核战斗部 W70–3。W70–3 的研制与生产工程始于 1976 年 4 月。在 1981 年 8 月到 1983 年 2 月期间，约生产了 380 枚。最后一枚弹头在 1992 年 9 月退役。W70–3 的威力有两挡，一挡稍低于 1 kt TNT，另一挡稍高于 1 kt TNT。威力中的聚变与裂变份额各占 60% 和 40%。W70 的其他几个型号 W70–0、W70–1 与 W70–2 都是增强裂变型的。曾经在 1976 年 4 月开始研制具有标准裂变和增强辐射型（用可插入的氚储存器）双重能力的 W70–4 核战斗部，由于采用 W70–3，W70–4 的研制在 1982 年被推迟。M–193、M–234、M–234E1 与 M–234E2 的长矛导弹核战斗部重约 211 kg，长 246 cm，直径 56 cm。“长矛”导弹的最大射程为 125 km。美国还曾经为陆军“斯普林特”(Sprint) 反洲际弹道导弹研制过一种增强辐射核战斗部 W66。“斯普林特”是用作洲际弹道导弹末端防御的一种小型快速导弹。W66 的生产工程始于 1972 年 1 月。从 1974 年 10 月到 1975 年 3 月大约生产了 70 枚 W66，在贮存近 10 年后于 1985 年正式退役。W66 的威力为低千吨 TNT 当量级（可能不到 1 ktTNT），重约 358 kg，用中子破坏目标。

（撰写：郑绍唐　审订：竺家亨）

Meiguo heping weishi MX daodan hezhandoubu W87 MK 21

美国和平卫士 /MX 导弹核战斗部 W87/MK–21 US nuclear warhead W87/MK–21 carried by the peacekeeper/MX missile　装备美国陆基洲际弹道导弹和平卫士 /MX 分导式多弹头的子弹头 MK–21 的核战斗部 W87。每枚和平卫士 /MX 导弹可携带 10 个 W87/MK–21 子弹头，每个子弹头的威力为 300 kt TNT，重 194 kg，底部直径为 55.4 cm，长 175 cm，头锥半径为 3.6 cm，半锥角为 8.2°。W87/MK–21 有几个特点：一是安全性能好，采用了钝感高能炸药 (IHE)、耐火弹心 (FRP) 和增强核爆安全系统 (ENDS) 等，是美国现有核弹头中安全等级最高的一种；二是核装置设计水平较高，它与威力相近的民兵Ⅲ导弹 W78/MK–12A 核战斗部相比，所用的核材料要少；三是有较好的突防和打击硬目标能力，弹头经过加固，命中目标精度 (CEP) 高达 90 m；四是有多种不同的爆炸方式：高空爆、空爆、低空爆、近地面爆和触地爆等。此外，与此弹头相匹配的 MX 导弹是美国的一种最新式弹道导弹，这就使 MX 核导弹成为了世界上最先进的核武器系统之一。W87/MK–21 是由美国劳伦斯 · 利弗莫尔实验室 1982 年开始研制的，1986 年首次部署。在 2000 年美国现役的战略核力量中有 50 枚带 W87/MK–21 核战斗部的 MX 导弹。

1—精编织穿轧的碳纤维鼻锥；
2—接触式传感器；
3—解保与引信系统；
4—尾部连接；
5—铝基结构；
6—战斗部舱；
7—碳酚醛热屏蔽；
8—石墨环氧树脂复合基结构；
9—自旋喷管（2 个中的 1 个）；
10—自旋气体发生器；
11—飞行中分离器；
12—系紧螺栓插座（8 个中的 1 个）；
13—S 波段天线（4 个中的 1 个）



装载 W87 核战斗部的 MK–21 核弹头

（撰写：竺家亨　审订：王连奎）

Meiguo heshiyanchang

美国核试验场 nuclear test sites of United States 美国在各地建立的核试验场。美国的主要核试验场有3处：美国本土上的内华达核试验场，太平洋上的核试验场和阿姆奇特卡岛核试验场。内华达是综合性大型核试验场，美国的核试验绝大部分都是在这里进行的。在内华达曾进行过塔爆、空投、气球、地面、地下等各种方式的核试验。1992 年核试验停止以后，内华达试验场目前仍承担着美国次临界试验等工作。美国曾在太平洋岛屿(包括比基尼、埃尼威托克、圣诞



内华达核试验场历次核试验造成的陷落弹坑群

图出处：因特网 http://www.fas,org/irp/imint/doe

岛和约翰斯顿等)进行过空投、塔爆、地面、水面、水下等各种方式的核试验，其主要目的之一是研究、观测核爆炸对海军舰艇和港口的破坏效应。美国还利用海岛进行了大威力的地面核试验。1954 年在比基尼岛上进行的 Bravo 地面核试验，威力达到 15 Mt TNT，是美国进行过的威力最大的一次核试验。因为担心大威力地下爆炸的地震安全问题，美国在安特奇卡岛进行了少数大威力地下核试验。1971 年进行的 Cannikin 试验，威力近 5 Mt TNT。为了特殊的目的,美国还在其他的地区进行过核试验，例如第一次核试验(Trinity)，和平利用核爆炸的“犁头”计划的试验等。

(撰写：吕 敏 审订：周佩珍)

Meiguo hewuqi

美国核武器 US nuclear weapons 美国研制、生产和部署的核武器。美国是世界上第一个拥有核武器的国家，自1945 年 7 月首次原子弹试验成功以来，进行过 1056 次核试验，共设计了 91 种不同类型的核弹。库存核弹最多时(1967 年)达到 32500 个，到 2000 年尚有 10500 个。美国现装备的核武器有两大类：战略核武器和战术核武器。战略核武器包括 500 枚“民兵”Ⅲ和 50 枚 MX(“和平卫士”)陆基洲际弹道核导弹；18 艘弹道导弹核潜艇及其携带的 192 枚“三叉戟”Ⅰ C–4 和 216 枚“三叉戟”Ⅱ D–5 潜射弹道核导弹；72 架 B–52H 型和 B–2 型战略轰炸机及其运载的核炸弹、空射巡航核导弹和先进巡航核导弹。战略武器的核弹总数大约有 7200 个。其中，2000 个核弹装备陆基洲际弹道导弹，3456 个核弹装备潜射弹道导弹，1750 个核弹装备战略轰炸机。战术核武器包括 325 枚“战斧”海射巡航导弹及其携带的 320 个核弹头，以及各种战术飞机运载的 1350 个 B61–3 型、B61–4 型和 B61–10 型核炸弹。美国这些核武器除 150 个飞机运载的 B61 型核炸弹部署在欧洲外，其余全部部署在美国本土。

美国核武器系统(截至 2000 年)

武器系统	数量	首次部署时间	核弹头数×型号×威力(kt TNT)×类型	核弹头总数量
陆基洲际弹道导弹	550			2000
“民兵”Ⅲ MK–12	200	1970	3 × W62 × 170 × MIRV[1]	600
MK–12A	300	1979	3 × W78 × 335 × MIRV	900
MX(“和平卫士”)	50	1986	10 × W87 × 300 × MIRV	500
潜射弹道导弹	408/18[2]			3456
“三叉戟”Ⅰ	192/8	1979	8 × W76 × 100 × MIRV	1536
“三叉戟”Ⅱ	216/10			
MK–4		1992	8 × W76 × 100 × MIRV	1536
MK–5		1990	8 × W88 × 475 × MIRV	384
战略轰炸机	97/72[3]			1750
B–2	21/16	1994	ALCM/W80-1 × 5～150[4]	400
B–52H	76/56	1961	B61–7/B61-11,B83	950
			ACM/W80–11 × 5～150[5]	400
战术核武器				
“战斧”海射巡航导弹	325	1984	1 × W80–0 × 5～150	320
B61–3/4/–10 型核炸弹		1979	3～170	1350

① MIRV 为分导式核弹头。
② “/”号后面的数字为弹道导弹核潜艇的数量。
③ “/”号前面的数字是轰炸机的总数量，“/”号后面的数字是执行战略轰炸任务的轰炸机数量(不包括教练和备用的战略轰炸机)；B-2 战略轰炸机不带 ALCM 或 ACM，头 16 架 B-2 战略轰炸机只带 B83 核航弹，最终所有 B-2 战略轰炸机都将能够带 B61 核炸弹和 B83 核炸弹。
④ ALCM 为空射巡航导弹。
⑤ ACM 为先进巡航导弹。 (撰写：王连奎 审订：竺家亨)

Meiguo hewuqi de xiaoxinghua jincheng

美国核武器的小型化进程 course of US nuclear weapons miniaturization 美国核武器提高比威力的过程(见图)。美国 1945 年制造的“胖子”原子弹的比威力为 4.5 t TNT/kg，1954年制造的空军第一个可投掷氢弹MK–17比威力为0.79～1.1 kt TNT/kg，最新式的弹道导弹和平卫士/MX携带的子弹头 W87/MK–21 比威力达到了 2.45 kt TNT/kg。核弹[头]的重量减至几十分之一，尺寸缩小至几分之一，小型化的幅度是很大的。到 20 世纪 80 年代，无论大型还是小型氢弹，比威力都已接近设计极限。



美国核武器小型化进程示意图

1 — 20 世纪 40 年代投在广岛的“小男孩”；
2 — 20 世纪 40 年代投在长崎的“胖子”；
3 — 原子弹；
4 — 20 世纪 50 年代美国部署的最大核炸弹 B–17；
5 — 20 世纪 80 年代的“三叉戟”Ⅱ D–5 导弹子弹头 W88(共装 8 枚)；
6 — 氢弹

图出处：Modern Bombs:Less but More，1999 年 9 月 7 日纽约时报

(撰写：郑绍唐 审订：竺家亨)

Meiguo hewuqi shigu

美国核武器事故 US nuclear weapons accidents 美国核武器在运输、贮存、装拆、测试、戒备训练等过程中所发生的事故。在美国公布的1950～1980年的32起核武器事故中，大部分是携带核武器的飞机在运输或戒备训练过程中发生的：或是飞机坠毁事故；或是飞机发生故障时，把核武器作紧急投弃而引起的事故。在32件事故中约有三分之一只发生炸药爆炸或着火，而无钚散落或放射性沾染；有三分之一是在事故中核武器的保险装置按设计要求发挥了作用，没有发生炸药爆炸和放射性事故；还有三分之一事故则在炸药爆炸后或着火中发生了钚散落和放射性沾染。但所有的这些事故中均未发生核爆炸。

两起涉及世界其他国家的严重事故为：1966年1月17日，一架携带4枚核炸弹的美国B-52轰炸机，在执行高空加油操作时与加油机相撞，坠毁在西班牙的帕洛马雷斯附近；其中有两枚核炸弹初级中炸药在落地时爆炸，引起钚材料的散落（见图）；另一起是1968年1月21日，一架携带4枚核炸弹的美国B-52轰炸机，在丹麦格陵兰岛的图勒空军基地准备着落时坠毁，因着火四枚核炸弹被烧坏。坠毁区有些放射性污染。这两起事故事后美国花巨资清理污染物，并在世界上产生严重影响和不良政治后果。



1966年1月17日在西班牙的一起事故中，落在地面上的3枚MK28R1核炸弹的零件和一枚着地仍保持完整的炸弹

图出处：Hansen C.US Nuclear Weapons-The Secret History.New York: Aerofax Inc, 1988. 227～229

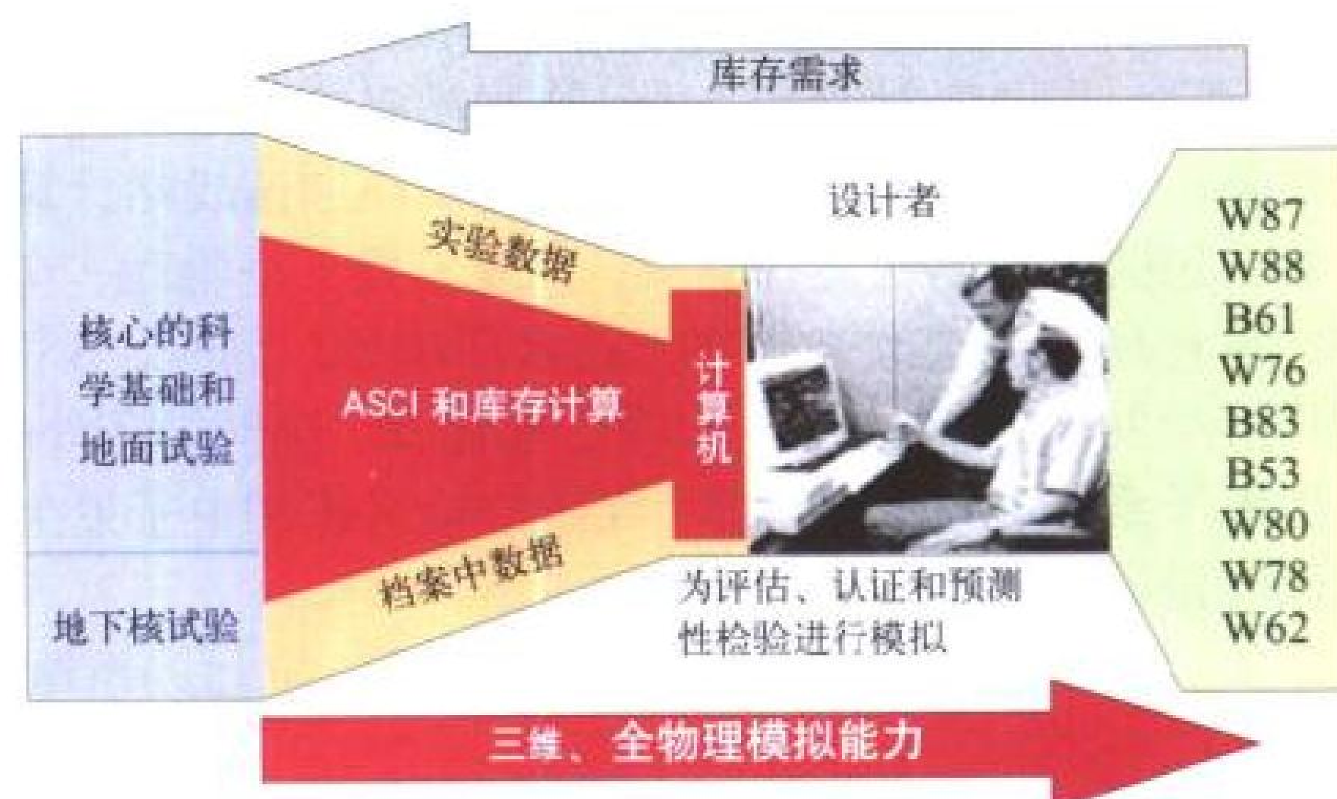
（撰写：竺家亨　审订：郑绍唐）

Meiguo jizai zhanlüe hewuqi

美国机载战略核武器 US airborne strategic nuclear weapons 美国战略轰炸机携带并投射的核武器。截至2000年，美国空军装备的机载战略核武器有三种：核炸弹、空射巡航核导弹和先进巡航核导弹。其中，核炸弹有B61-7型、B61-11型和B83型、共有950个;带W80型核战斗部的空射巡航导弹有400枚，带W80型核战斗部的先进巡航导弹有400枚。运载这些核武器的飞机包括：16架B-2战略轰炸机和56架B-52 H战略轰炸机。B61-11是美国空军1997年开始装备的一种新型战略和战术两用钻地核炸弹，它是由B61-7核炸弹改装而成的。B61-11核炸弹重约545 kg，弹长3.7 m，弹体直径0.34 m，弹尾直径0.57 m。B-2战略轰炸机、B-52 H战略轰炸机和F-16战术飞机均可运载B 61-11钻地核炸弹。B 61-11核炸弹被空投到地面时，能钻入地下3～6 m，在地下引爆，爆炸时释放出来的能量大部分转入地下，对地面上的目标造成的破坏较小，主要用来攻击敌方地下指挥与控制中心和其他重要地下设施。（撰写：王连奎　审订：竺家亨）

Meiguo jiasu zhanlüe jisuan changyi jihua

美国加速战略计算倡议计划 US accelerated strategic computing initiative program (ASCI) 美国在禁核试后，为确保科学基础上库存核武器技术保障与管理计划(SSMP)的实施而开展的加速计算机模拟能力的一项关键性计划。这是1996年9月，由美国能源部防务计划办公室与三个核武器实验室共同提出的。计划主要内容包括：研制高性能计算机，以期在2003年前，计算速度提高到百万亿次每秒；开发高性能、三维、全系统、全物理计算程序，为武器分析家提供高分辨率、高逼真度的虚拟试验（计算机模拟武器物理的全过程，可以认为是在计算机上做核试验）能力，以期在2010年前实现科学基础上的库存管理目标；建立解决问题的环境，其目的是帮助应用软件开发者们快速开发高性能应用程序和帮助核科学家们方便使用先进的武器应用软件，有效地利用模拟计算结果提高洞察物理现象的能力，为实现SSMP计划发挥判断、决策作用。ASCI要求数值计算能力有大幅度的增长，在计算机硬件和大规模计算环境、计算模型的物理基础、模拟计算方法等方面都有显著进展，期望能将对武器的以试验为基础的评估方法转移到以计算为基础的评估方法。通过ASCI计划要达到的四个主要目的是：在武器性能方面，创造高性能虚拟试验，分析核武器性能，预计核武器动作过程；在武器安全性方面，以高置信度预计核武器在复杂事故环境中的反应概率；在武器可靠性方面，争取达到经过充分校验的预计能力，以延长库存武器寿命，指出失效机理，减少正常维修；在武器重新生产方面，使用虚拟样机以减少库存武器质量验证和部件替换所需的试验和生产设备。ASCI计划还强调与大学和计算机工业界的密切合作，以形成训练有素的年轻国防科技队伍，同时也将推动国家重要计算资源与创新的科学模拟技术的发展。



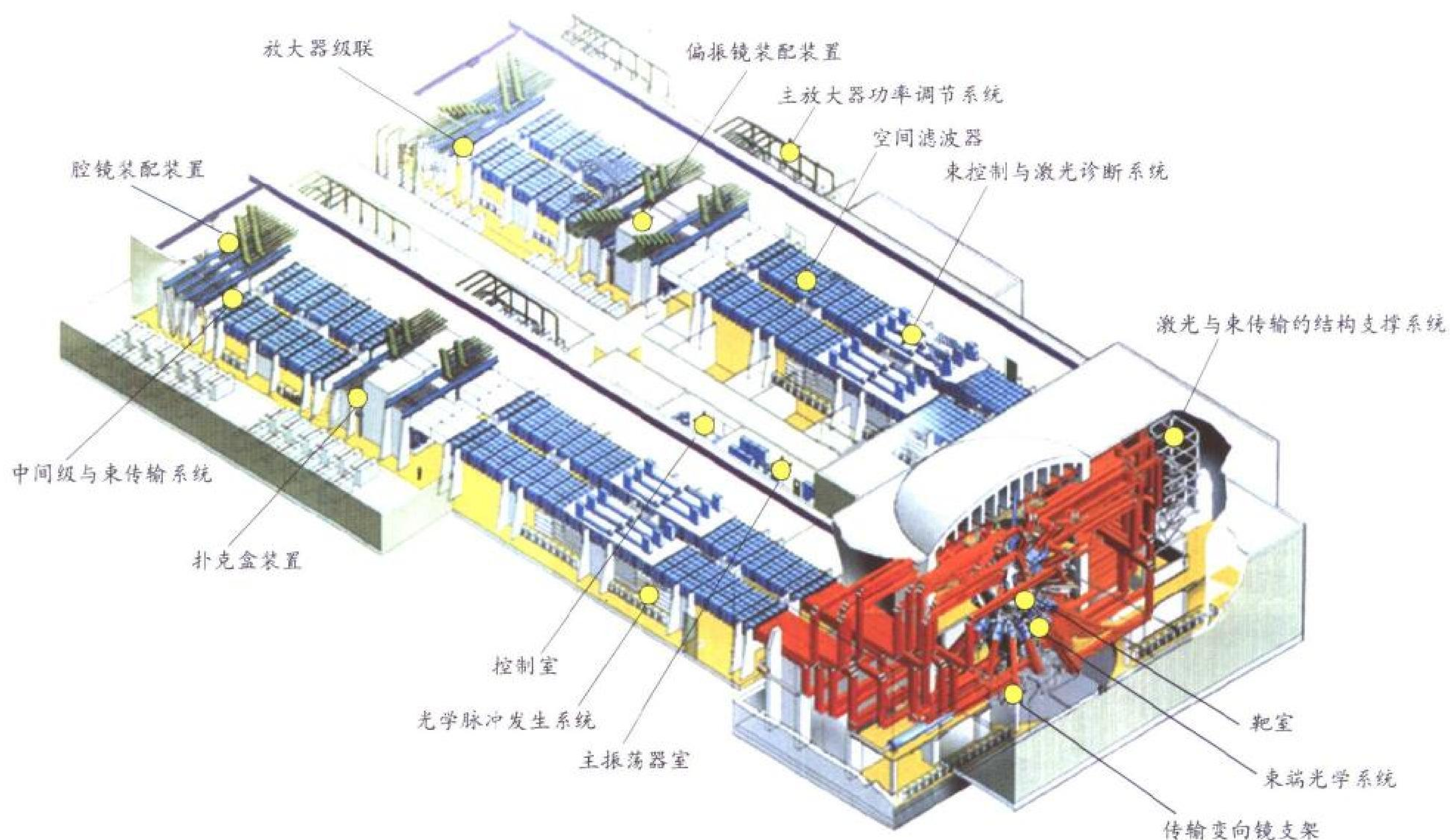
加速战略计算倡议计划与库存维护的关系

图出处：http://www.llnl.gov/,“accelerated strategic computing initiative program plan”

（撰写：竺家亨　审订：王惠蔺）

Meiguo kucun hewuqi jishu baozhang yu guanli jihua

美国库存核武器技术保障与管理计划 US stockpile stewardship and management program (SSMP) 禁核试后美国继续维持永久性核武库的置信度,确保库存核武器安全性、可靠性及其战斗性能的一项纲领性计划。该计划是1996年2月29日能源部防务计划办公室发布的。计划集中体现了在核试验基础上的库存管理转移到无核试验条件下科学基础上库存管理的主要技术路线。SSMP的三个主要目标是：为美国核武器的安全性、保安性和可靠性提供高的置信度，以确保美国核威慑的有效性，同时支持美国的军备控制和核不扩散政策；建立一个小型的高效生产联合体，在需要时，提供武器部件和更换件（包括有限寿命部件和氚）；在未来国家安全需要时，有恢复美国核试验和核武器生产的能力。为此，SSMP的发展战略是继续增强核武器研制实体的核心智力和技术能力；发展先进的实验和计算能力，维持对核武器性能、安全性、



国家点火装置的设想图

可靠性的评估能力；为提高实验能力，将耗巨资建立双轴闪光照相流体动力学试验装置，先进流体试验装置，国家点火装置(见图)，先进辐射源和 Atlas 脉冲功率装置等一批大型实验设备；为提高计算能力，将耗巨资实施加速战略计算倡议计划，包括发展高性能计算机，开发三维、全物理、全系统的计算程序；创造改进程序的技术环境等。同时，SSMP 计划将继续发展初级、次级、炸药、起爆器、辐射屏蔽外壳、战斗部电子系统、气体储存器、气体传输系统和中子发生器等部件的设计、生产、装配能力。

（撰写：竺家亨　审订：郑绍唐）

Meiguo luji zhouji dandaodaodan hewuqi

美国陆基洲际弹道导弹核武器　US land base intercontinental ballistic missile nuclear weapons　以陆地为基地、射程超过 5500 km 的美国弹道导弹核武器。美国曾经研制并部署过多种陆基洲际弹道导弹核武器，其中主要有“宇宙神”、“大力神”Ⅰ、“大力神”Ⅱ、“民兵”Ⅰ、“民兵”Ⅱ、“民兵”Ⅲ和 MX 等。截至 2000 年，美国空军装备的陆基洲际弹道导弹核武器有两种：“民兵”Ⅲ导弹和 MX 导弹，共装备 2000 个核弹头。



“民兵”Ⅲ陆基导弹（左）和 MX 陆基导弹（右）发射时的情景

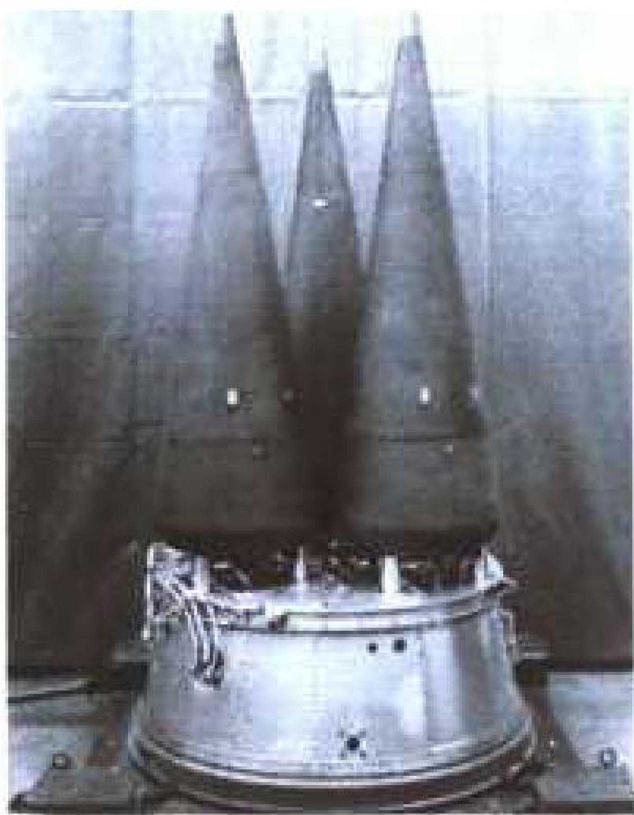
“民兵”Ⅲ导弹是三级固体推进剂导弹，惯性制导，弹长 18.3 m，弹体直径 1.85 m，地下井发射，起飞重量 35.4 t，最大射程 13000 km。“民兵”Ⅲ导弹带两种核弹头：W62/MK-12 和 W78/MK-12 A 核弹头。带这两种核弹头的“民兵”Ⅲ导弹的投掷重量分别为 1t 和 1.15 t、命中精度(圆概率误差)分别为 220 m 和 120 m。1966 年开始研制，1968 年 8 月 16 日开始飞行试验，1970 年开始部署，现部署 500 枚。美国为了长期保留“民兵”Ⅲ核导弹，制定了诸如改进导弹的制导系统、指挥与控制中心以及导弹发动机等多项计划。这些计划完成以后，不仅使“民兵”Ⅲ导弹的命中精度(圆概率误差)提高到 100 m，而且使这些导弹的服役期限延长到 2020 年。

MX 导弹是四级固体推进剂导弹(第四级为可储液体推进剂)，惯性制导，弹长 21.6 m，弹体直径 2.34 m，地下井发射，起飞重量 88.4 t，投掷重量 3.6 t，射程 9600 km，命中精度(圆概率误差)为 100 m。1974 年开始研制，1983 年 6 月 17 日开始飞行试验，1986 年 12 月开始部署，现部署 50 枚。按照第二阶段削减战略武器条约的规定，到 2007 年，美国装备的 50 枚 MX 核导弹将全部退役。

（撰写：王连奎　审订：竺家亨）

Meiguo minbing Ⅲ daodan gaijinxing hezhandoubu W78 MK 12A

美国“民兵”Ⅲ导弹改进型核战斗部 W78/MK-12A　US modification warhead W78/MK-12A carried by the minuteman Ⅲ missile　装备美国陆基洲际弹道导弹“民兵”Ⅲ分导式多弹头的子弹头 MK-12A 的改进型核战斗部 W78。每枚“民


3枚W78/MK-12A子弹头安装在分导式多弹头“母舱”内
图出处：Hansen C. US Nuclear Weapons-The Secret History. New York: Aerofax Inc, 1988.

兵”Ⅲ导弹可携带3个W78/MK-12 A子弹头，每个子弹头的威力为335 kt TNT，重约164 kg，底部直径为54.3 cm，长度小于181.3 cm(见图)。1970年开始部署的“民兵”Ⅲ导弹，携带的是3个W62/MK-12子弹头(每个威力为170 kt TNT)。1979年开始部署的“民兵”Ⅲ导弹携带的是3个W78/MK-12A子弹头。W 78/MK-12 A与W 62/MK-12相比较，其改进之处有：威力提高近一倍；在核战斗部设计中增加了“增强核爆安全系统”(ENDS)，提高了武器的安全性能；在引爆方式上，引入了更多的引信选择方案；突防设备上，带有更先进的主动电子干扰装置(ECM)，以迷惑敌方反弹道导弹(ABM)雷达；命中精度(CEP)可达120 m(W 62/MK-12为220 m)。W78/MK-12 A是由美国洛斯·阿拉莫斯实验室1974年开始研制的，1979年8月首次部署。在2000年美国现役的战略核力量中，500枚“民兵”Ⅲ导弹已有300枚装备了W78/MK-12 A弹头。

（撰写：竺家亨　审订：王连奎）

Meiguo pangzi yuanzidan

美国“胖子”原子弹　US atomic bomb Fat Man　美国投于日本长崎代号为“胖子”的内爆法原子弹(见图)。这是1945年8月9日由美国B-29型轰炸机携带和投掷的，是美国实战中使用的第二颗原子弹。该弹用了大约2500 kg炸药，裂变芯用了6.2 kgδ相钚合金，用Po-Be中子源作核点火部件。弹重4.67 t，呈蛋形，长320 cm，最大外直径152 cm，威力21 kt TNT。“胖子”原子弹是一种内爆型球形结构设计，利用外层化学炸药爆炸产生的内聚冲击波和高压力，压缩处于次临界状态的裂变芯，使其密度急剧升高，达到超临界状态，适时中子源提供若干中子，触发链式裂变反应。“胖子”原子弹在长崎市上空爆炸，给长崎市造成极大的毁伤，爆心周围11 km^{2}内建筑物全部被毁，炸死3.8万人，炸伤2.1万人，死伤人数占该市23万人口(不含疏散人口)的30%。“胖子”核炸弹的生产型号为MK-3和MK-4，是在实战中使用的“胖子”基础上对其安全性和可靠性方面作了一些改进的产品。这些型号的核炸弹于1953年全部退役。　（撰写：竺家亨　审订：郑绍唐）


美国国家原子博物馆展出的“胖子”原子弹
图出处：Gibson J N. Nuclear Weapon of the United States. Schiffer Publishing Ltd, 1996. 87(下)

Meiguo qianshe dandao daodan hewuqi

美国潜射弹道导弹核武器　US submarine launched ballistic missile nuclear weapons　美国核潜艇携带并发射的弹道导弹核武器。美国曾经研制和部署多种潜射弹道导弹核武器，主要有“北极星”A-1、“北极星”A-2、“北极星”A-3、“海神”C-3、“三叉戟”Ⅰ C-4和“三叉戟”Ⅱ D-5。

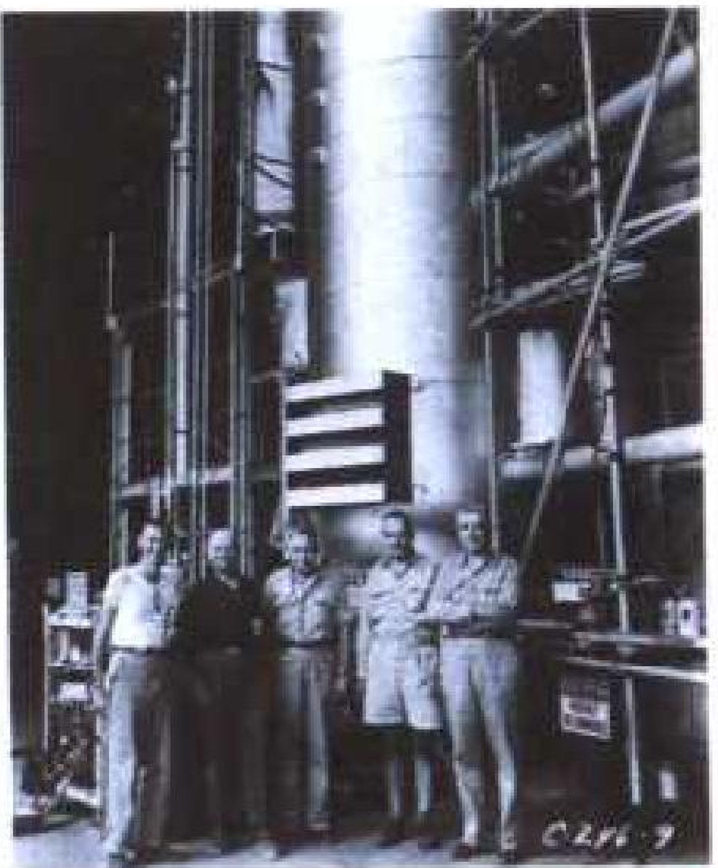
截至2000年，美国海军装备的潜射弹道导弹核武器有“三叉戟”Ⅰ C-4和“三叉戟”Ⅱ D-5，这两种核导弹由18艘弹道导弹核潜艇携带，共有3456个核弹头。“三叉戟”Ⅰ C-4导弹是三级固体推进剂弹道导弹，星光惯性制导，弹长10.36 m，弹体直径1.88 m，潜艇水下发射，起飞重量33.11 t，投掷重量1.36 t，射程7400 km，命中精度(圆概率误差)为200 m。每枚导弹携带8个W76/MK-4分导式核弹头。1971年10月开始研制，1977年1月开始进行陆射飞行试验，1979年4月开始进行潜射飞行试验，1979年10月开始部署，现部署192枚。到2007年，美国现部署的“三叉戟”Ⅰ C-4导弹将全部退役。“三叉戟”Ⅱ D-5导弹是三级固体推进剂弹道导弹，星光惯性制导，弹长13.42 m，弹体直径2.11 m，潜艇水下发射，起飞重量58.96 t，投掷重量2.72t，射程7400 km，命中精度(圆概率误差)为110 m。1977年10月开始研制，1987年1月开始进行陆射飞行试验，1989年3月开始进行潜射飞行试验，1992年开始部署带W76/MK-4分导式核弹头的导弹，现部署192枚；1990年开始部署带W88/MK-5分导式核弹头的导弹，现部署216枚。到2007年，美国现装备的14艘弹道导弹核潜艇将全部改装“三叉戟”Ⅱ D-5潜射弹道核导弹，每一艘核潜艇携带24枚“三叉戟”Ⅱ D-5核导弹。


“三叉戟”Ⅰ C-4潜射导弹(左)和“三叉戟”Ⅱ D-5潜射导弹(右)发射时的情景

（撰写：王连奎　审订：竺家亨）

Meiguo qingdan yuanli shiyan zhuangzhi maike

美国氢弹原理试验装置“迈克”　US nuclear device Mike for hydrogen bomb principles test　美国首次泰勒—乌拉姆构型氢弹设计的原理试验装置。也是世界上首次氢弹原理试验的装置(见图)。泰勒—乌拉姆构型是一种分级的裂变初级与含热核装料次级的组合体。“迈克”装置用液氘作热核装料，这是因为当时美国缺乏固体氘化锂-6材料，同时也缺乏对氘化锂-6材料在热核环境条件下的性能的了解。液态氘需用液氢循环冷却系统，再加上周围又围上了一层厚厚的天然铀作为次级热核爆炸的惰层，这就使装置十分笨重，总重达到65 t，高6.1 m，直径1.8 m。


在冷却壳体内的“迈克”装置
图出处：Hansen C. US Nuclear Weapons-The Secret History. New York: Aerofax Inc, 1988. 54～60

这样的装置无法用飞机、导弹等运载工具运载，因而不能作为武器使用。1952年6月完成物理设计，1952年11月1日在埃尼威托克环礁的埃卢格拉勃岛的爆室内进行核试验。试验测试结果，“迈克”的爆炸威力10.4 Mt TNT，其中聚变威力份额只有23%。“迈克”试验是美国热核武器发展过程的一个里程碑。 （撰写：兰家亨 审订：郑绍唐）

Meiguo sanchaji Ⅱ D 5 daodan hezhandoubu W88 MK 5

美国“三叉戟”Ⅱ D-5 导弹核战斗部 W88/MK-5 US nuclear warhead W88/MK-5 carried by the Trident Ⅱ(D-5) missile 装备美国海军潜射弹道导弹“三叉戟”Ⅱ D-5分导式多弹头的子弹头MK-5的核战斗部W88（见图）。每枚“三叉戟”Ⅱ D-5导弹可携带8个W88/MK-5子弹头。每个子弹头的威力为475ktTNT，重约211kg，底部直径为56 cm，长175 cm。命中精度（圆概率误差）可达91～122 m。W88/MK-5子弹头装有增强核爆安全系统（ENDS），提高了武器安全性能，同时还配备了两种新部件：一种是“灵巧的”固态补偿引信，它能调整引信系统以纠正导向目标的误差；另一种是新型单一装置的解保、引信及点火系统，采用了引信技术方面的最新成果。由于“三叉戟”Ⅱ D-5导弹比“三叉戟”Ⅰ C-4导弹在射程、有效载荷、弹头威力、命中精度等方面都有大幅度提高，这就显著地提高了它打击硬目标的能力，加上潜基导弹系统本身具有良好的生存能力，使“三叉戟”Ⅱ D-5核导弹成为目前世界上最先进的核武器系统之一。W88/MK-5是由美国洛斯·阿拉莫斯实验室1983年开始研制的，1989年首次部署。在2000年美国现役的战略核力量中，有216枚“三叉戟”Ⅱ D-5导弹，其中的48枚已装上了W88/MK-5弹头。 （撰写：兰家亨 审订：王连奎）



W88/MK5的结构示意图

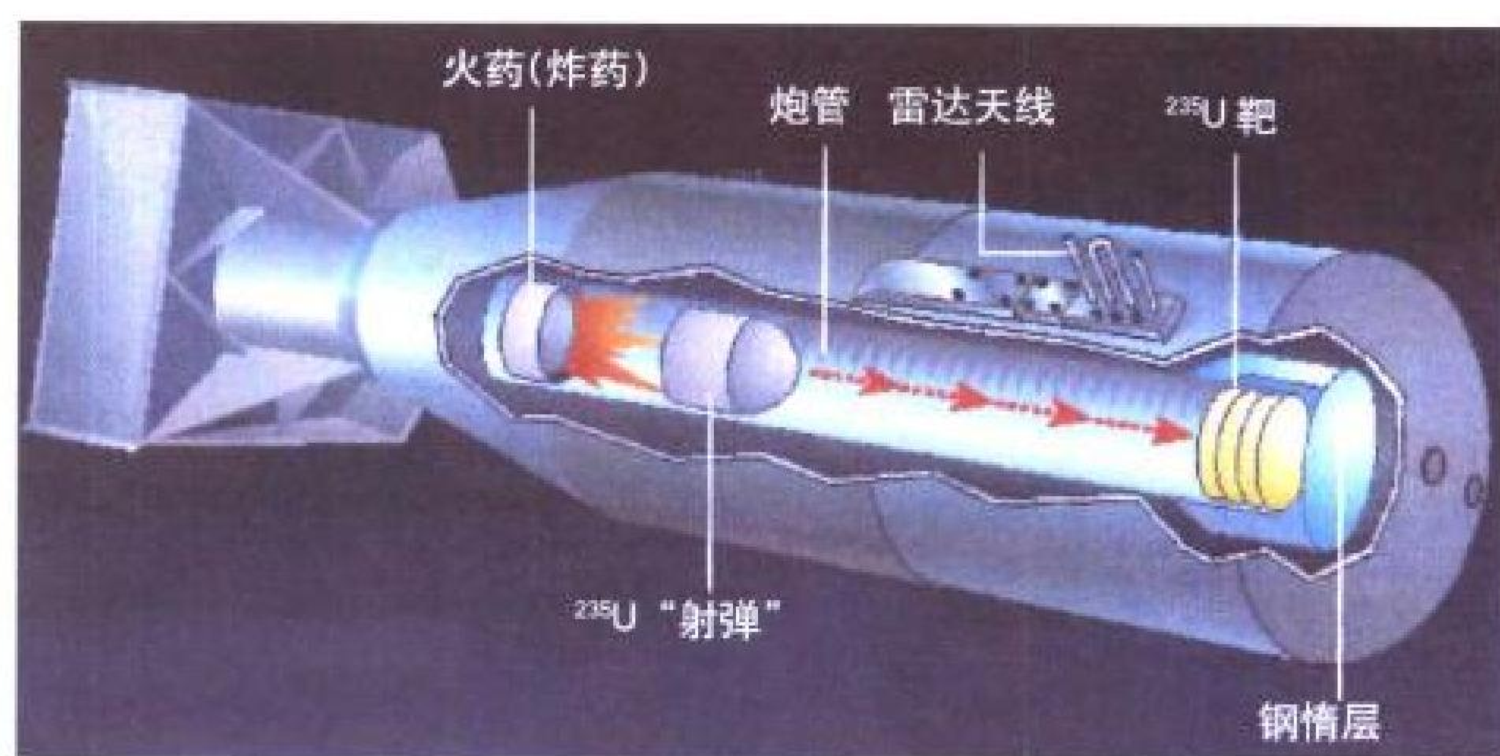
Meiguo xianyi hedan xilie

美国现役核弹系列 US nuclear bomb series in service 美国目前正在服役的导弹核战斗部和核炸弹系列。截至2000年，美国现役核弹系列共有8种型号、约8400个。它们是：W88，W87，W80，W78，W76，W62核战斗部和B83，B61核炸弹。其中，W80核战斗部有两种型号，一种是装备空射巡航导弹和先进巡航导弹的W80-1型核战斗部，另一种是装备潜射巡航导弹的W80-0型核战斗部；B61核炸弹有5种型号：B61-3，B61-4，B61-7，B61-10和B61-11。此外，美国大约还有2100个备用的核弹。在这些核弹中，除了150个B61核炸弹部署在欧洲以外，其余全部部署在美国本土，分布在14个州：新墨西哥州、佐治亚州、华盛顿州、内华达州、北达科他州、怀俄明州、密苏里州、蒙大拿州、路易斯安娜州、得克萨斯州、内布拉斯加州、加利福尼亚州、弗吉尼亚州和科罗拉多州。其分布的地点和数量如下：斑戈潜艇基地有1600个核弹、费尔柴尔德空军基地有85个核弹、马姆斯特罗姆空军基地有550个核弹、迈诺特空军基地有990个核弹、大福克斯空军基地有150个核弹、弗朗西斯·沃伦空军基地有985个核弹、内利斯空军基地有1350个核炸弹和核弹、北岛海军航空兵站有160个核弹、柯特兰空军基地有2450个核炸弹、能源部的潘迪克斯厂有350个核弹、怀特曼空军基地有550个核炸弹、巴克斯代尔空军基地有540个核弹、金兰湾潜艇基地有2000个核弹、约克城海军武器站有160个核弹。 （撰写：王连奎 审订：兰家亨）

Meiguo xiaonanhai yuanzidan

美国“小男孩”原子弹 US atomic bomb Little Boy 美国投于日本广岛代号为“小男孩”的枪法原子弹（见图）。是世界上用于实战中的第一颗原子弹。这是1945年8月6日，由美国B-29型轰炸机携带和投掷的。弹重约4.04 t，长约3.2 m，直径约71 cm，威力15 kt TNT。

“小男孩”原子弹是一种枪法结构设计。两块处于次临界状态的^{235}U裂变装药分别为“靶”套管（重25.6 kg）和“射弹”（重38.5 kg），共用了64.1 kg富集度约为80%的富集铀（是当时美国橡树岭气体扩散厂生产的全部富集铀）。“射弹”由电点火炸药爆炸驱动，以305m/s速度射入弹体前端的“靶”套管而形成超临界，由Po-Be中子源提供中子引发链式裂变反应。“小男孩”原子弹在广岛上空爆炸，给广岛市造成极大的毁伤，爆心周围12 km^{2}内建筑物全部被摧毁，炸死6.8万人，炸伤7.6万人，死伤人数占广岛市24万人口（不含疏散人口）的60%。“小男孩”核炸弹的生产型号为MK-1，由于枪法原子弹要比内爆法设计多用易裂变材料，且效率低，故仅生产5枚，于1950年秋全部退役。（撰写：兰家亨 审订：郑绍唐）

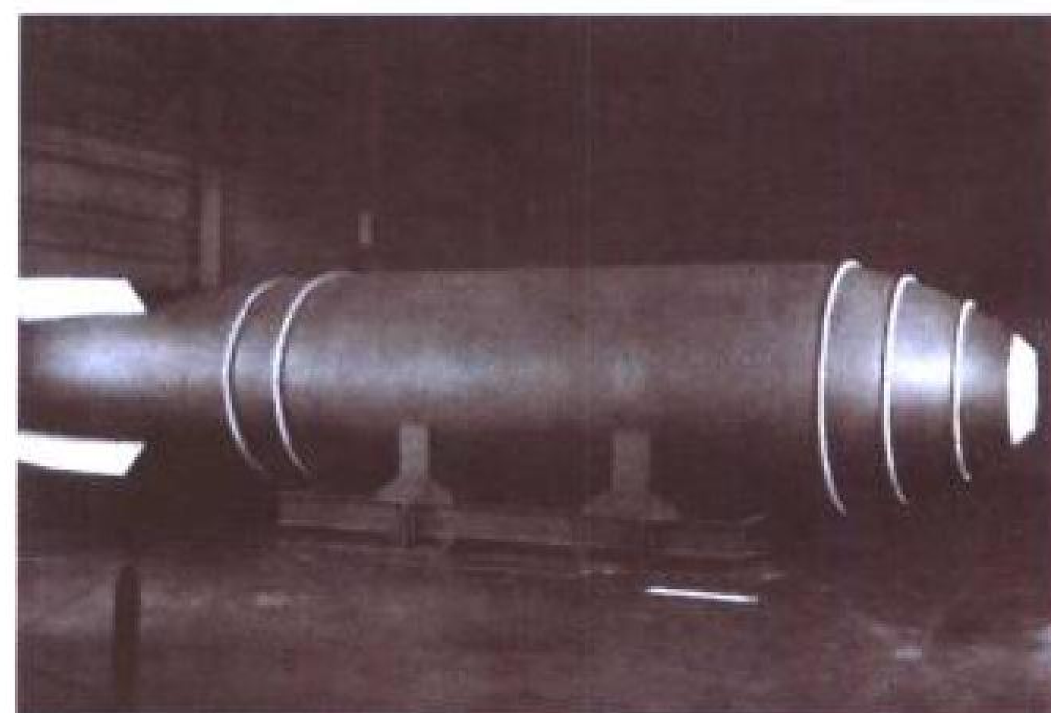


“小男孩”枪法原子弹结构示意图

图出处：美国众议院特别委员会.关于美国国家安全以及对华军事及商业关系的报告.王振西等译.北京：新华出版社，1999.87

Meiguo weili zuida de qingdan MK 17

美国威力最大的氢弹MK-17 the US most powerful hydrogen bomb MK-17 美国部署过的核武器中威力最大的氢弹。是美国早期氢弹的代表性产品，特点是重量大，体积大，威力高（见图）。MK-17长752 cm，直径156 cm，重约18.8～19 t（壳体由近9 cm厚的钢



美国历来部署的最大威力核武器MK-17

图出处：Gibson J N. Nuclear Weapon of the United States. Schiffer Publishing Ltd, 1996.93（上）

板制成，重约13.6 t)，用未富集的固体氘化锂作为热核燃料，威力高达 15～20 Mt TNT。由于尺寸和重量特大，移动时需要特别的大型桁架设备，由两台吊车吊运，只有B 36重型轰炸机才能携带。为了提高安全性，炸弹的裂变初级采用使用前插入的办法。炸弹可以在空中引爆或触发引爆，依靠装在弹尾部的直径为 19.5 m的降落伞减速，以保证运载飞机机组人员的安全。投弹后，运载飞机由于重量大大减轻，通常会向上爬高几百米。MK-17 于 1953 年由美国洛斯·阿拉莫斯实验室开始研制，1954年5月生产和入库，为了促进更小型、更轻量和更易操作的武器的研制，1957 年 8 月全部退役。

（撰写：竺家亨　审订：郑绍唐）

Meiguo zaiouzhoubushu de hewuqi

美国在欧洲部署的核武器　US nuclear weapons deployed in Europe　部署在欧洲的美国导弹核武器和飞机携带的核炸弹。美国早在 1953 年就已经开始在欧洲部署战术核武器。此后，美国在这一地区部署的核武器数量不断增加，到20 世纪 80 年代末期核弹最多时有 5310 个(见表)。

美国在欧洲部署的核武器

武器系统(核弹型号)	武器数量(核弹数量)	备　注
核炸弹 (B28/B43/B57/B61)	(1730)	供美国和北约各国的飞机使用
深水核炸弹(B57)	(270)	供美国和北约各国的飞机使用
潘兴 1A 导弹战斗部 (W50)	72 (100)	供前联邦德国空军使用
长矛导弹战斗部 (W70)	55 (1070)	部署在前联邦德国、荷兰、意大利、比利时、土耳其
诚实约翰导弹战斗部 (W31)	24 (130)	部署在希腊、土耳其
奈基 II 导弹战斗部 (W31)	250 (250)	部署在德国、荷兰、意大利、比利时、土耳其
核大炮弹 (W33/W48)	1660 (1660)	203 mm 和 155 mm 核大炮，部署在英国、德国、比利时、希腊、意大利等
核地雷(W45/W54)	(100)	部署在德国、荷兰
总　计	(5310)	

美国部署在欧洲的战术核武器绝大部分已经撤出，只剩下 150 个飞机运载的 B 61 型核炸弹，现部署在欧洲 7 个国家的 10 个空军基地。具体地点和数量如下：英国的莱肯希思 (Lakenheath) 空军基地有 30 个，德国的拉姆施泰因 (Ramstein) 空军基地有 15 个，斯潘达莱梅 (Spangdalem) 空军基地有 20 个，布埃赫尔 (Buechel) 空军基地有 10 个，意大利的盖迪—托里 (Ghedi-torre) 空军基地有 10 个，阿维亚诺 (Aviano) 空军基地有 20 个，比利时的小布罗赫尔 (Kleine Brogel) 空军基地有 10 个，荷兰的沃尔克尔 (Volkel) 空军基地有 10 个，希腊的阿拉克索斯 (Araxos) 空军基地有 10 个，土耳其的因吉尔利克 (Incirlik) 空军基地有 15 个。

（撰写：王连奎　审订：竺家亨）

Meiguo zengqiang X shexiandan W71

美国增强 X 射线弹 W71　US maximized X-ray output warhead W71　美国为"卫兵"反洲际弹道导弹防御系统的斯巴坦 (Spartan) 导弹研制的核战斗部。它以 X 射线破坏来袭导弹。20 世纪 60 年代，美、苏都曾部署反弹道导弹的防御系统。美国的"卫兵"系统有高空与低空两层防御，即先用大型远程斯巴坦导弹拦截 160 km 高空来袭导弹，再用小型快速的斯普林特 (Sprint) 导弹摧毁漏网的弹头 (射程高度 40 km)。高空拦截导弹斯巴坦就是用核爆 X 射线来破坏敌方导弹的。W71 于 1968 年 3 月在利弗莫尔实验室开始研制，1972 年 1 月开始生产，在 1974 年 10 月与 1975 年 8 月间大约生产了 30枚，立即进入非现役储备。最后一枚 W71 在 1992 年 9 月退役。W71 的威力约 5Mt TNT，威力的 80% 以 X 射线的形式在 0.1 μs 内放出。（撰写：郑绍唐　审订：竺家亨）

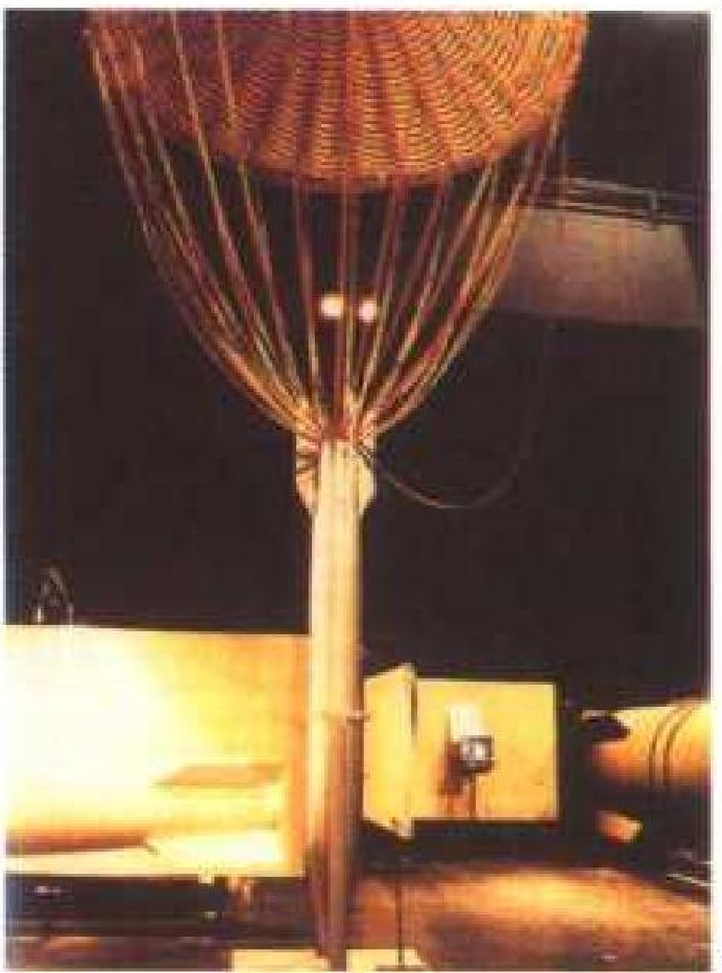
Meiguo zhanlüe fangyu changyi jihua

美国战略防御倡议计划　US strategic defense initiative project (SDI)　美国为对来袭弹道导弹实施多层拦截、发展以定向能武器为主的战略防御系统计划。俗称"星球大战"计划。这是 1983 年 3 月 23 日美国总统里根向全国发表电视演说中提出的。计划包括五大技术领域：信息获取技术（目标的监视、捕获、跟踪和杀伤评定）；定向能武器技术；动能武器技术；系统分析与作战管理；支持性技术。SDI 计划要求在弹道导弹飞行的全过程，即助推段、后助推段、中段和再入段，实施分层拦截。这是一项庞大的、技术复杂、耗资巨大的工程，而且在政治和军事上存在着引发新的军备竞赛和破坏已有的战略稳定和平衡的诸多争议。随着 20 世纪 90 年代初华沙条约组织瓦解、苏联解体、冷战形势的缓减，使战略弹道导弹防御失去了其发展的动力，加之经济和技术上的诸多难题，美国终于在 1993 年 5 月宣布取消 SDI 计划。把 SDI 计划的研究发展局 (SDIO) 正式改名为弹道导弹防御局 (BMDO)，全力发展战区弹道导弹防御系统。

（撰写：竺家亨　审订：郑绍唐）

Meiguo zhanshu zhanlüe liangyong hezhadan B61

美国战术／战略两用核炸弹 B61　US dual-purpose tactical/ strategic nuclear bomb B61　美国的一种重量轻、多用途、威力可调和有多种改进型号的热核炸弹（见图）。B 61 核炸弹直径为 34 cm，长 332 cm，重 315～325 kg，尾翼翼展为57 cm，有 11 种改进型号，4 种不同威力可供选择，其中一种是特低威力 (为 10 kt TNT)，其余三种选择威力在100～500 kt TNT之间。B 61 核炸弹有 4 个主要组成部段：头锥为雷达引信头锥；弹中段为武器"硬壳"部分，包含核战斗部、弹道定时器、热电池以及电子引信与点火线路；后段为起飞前解保控制系统，安全脱离定时器调定数字盘，降落伞张开或自旋火箭点火时间延迟选择开关；尾段为弹尾翼和后段结构部件，包括减速降落伞及其开伞、拔拉起爆等机构。B 61 可供空军、海军的各种飞机携带和超低空投掷，命中精度 (CEP) 为 183 m。B 61 的各种改进型号均装有突防、环境敏感装置和加固的穿地头锥。一些后继型号如 B61-7 型采用了密码锁(PAL)、钝感炸药 (IHE)、备用引信和指令失效装置。最新型的 B61-11 型是 B61-7的改进型，是1997年开始装备的战术／战略两用钻地核炸弹，能钻入地下 3～6 m 引爆，用来攻击敌方地下指挥控制中心和其他地下目标。截至 2000 年仍在服役的 B61 的各种型号有：战略型 B 61-7 和 B 61-11；战术型 B 61-3、B 61-4 和 B 61-10 等。



美国原子博物馆展出的B61核炸弹(带有张开锥形降落伞)

图出处：Gibson J N. Nuclear Weapon of the United States. Schiffer Publishing Ltd, 1996.103(上)

（撰写：竺家亨　审订：王连奎）

Meiguo zhongzi paodan

美国中子炮弹 US enhanced radiation version artillery projectile 美国装有增强辐射型核战斗部的炮弹。美国曾经服役的中子炮弹有装有增强辐射型战斗部 W79 的陆军 20.32 mm（8in）大炮的 XM-753 炮弹（见图）。W79 有 W79-0 和 W79-1 两种型号。W79-0 具有标准裂变和增强辐射双重能力，W79-1 是具有可插入增强辐射部件的增强辐射型战斗部。W79-0 后被取消，而采用 W79-1。1975 年 1 月在利弗莫尔实验室开始 W79 的研制。在 1981 年到 1986 年期间共生产 550 枚 W79，其中 325 枚为增强辐射型，225 枚为标准裂变型。至 1990 年年中，有 340 枚 W79 进入国家核武库，其中 40 枚为增强辐射型（可能已换成标准裂变型）。部分W79-1进入非现役贮备。作为大规模削减核武器的一部分，1992 年 9 月 W79 全部退役。W79-0的威力在几吨到 1.1kt TNT 间三挡可调。裂变聚变比在低威力时为 50：50，高威力时为 25：75。W79-1 的威力为 0.8 kt TNT。XM-753 核炮弹长 109 cm，直径 20.3 cm，重 97.5 kg。大炮射程可达 30 km。美国曾经为陆军和海军陆战队 155 mm 大炮用的 XM-785 型核炮弹研制过 W 82-0 具有标准裂变型和增强辐射型双重能力的核战斗部。1977 年 9 月在利弗莫尔实验室开始研制，1983 年10月被取消。W 82/XM-785炮弹重43.1 kg，直径155 mm，长 86.4 cm，射程 30 km，威力小于 2 kt TNT。



带火箭助推器的 XM-753/W-79 核炮弹
图出处：Hansen C. US Nuclear Weapons － The Secret History. A Division of Crown Publishers, Inc. 1988.

（撰写：郑绍唐 审订：竺家亨）

Mei Su guanyu xianzhi fandandao daodan xitong tiaoyue

《美苏关于限制反弹道导弹系统条约》 Treaty between the United States of America and Union of the Soviet Socialist Republics on the Limitation of Anti-ballistic Missile Systems 简称《反导条约》。美国和苏联于 1972 年 5 月 26 日在莫斯科签署，同年 10 月 3 日生效，无限期有效，每 5 年审议一次。该条约是美苏限制战略武器会谈的主要成果之一，旨在禁止任何一方建立全面的国土战略导弹防御系统、拥有攻防兼备的核优势，从而打破核力量的均衡态势。条约包括序言和16条正文。在条约中“反弹道导弹系统”（下称“反导系统”）系指用以拦截在飞行轨道上的战略导弹或其组成部分的系统。条约规定，每方可部署两个反弹道导弹发射场，分别保卫首都和洲际导弹基地，且在半径不超过 150 km 的每个发射场内，可部署不超过 100 部反弹道导弹发射架和 100 枚反弹道截击导弹；双方保证不研制、试验或部署以海洋、空中、空间为基地的以及陆地机动的反导系统及其组成部分；不使普通防空系统拥有截击战略导弹或其组成部分的能力；也不把本条约所限制的反导系统或其组成部分移交他国或在国外部署；各方使用自己的国家技术手段对对方的履约情况进行核查，并保证不干扰和采取蓄意隐瞒措施来妨碍另一方的正常核查。1974 年 7 月 3 日，美苏双方在莫斯科又签订《限制反弹道导弹系统条约议定书》，将《反导条约》允许双方各部署两处反弹道导弹发射场修改为各部署一处，地点由各方自行选定。苏联决定保留莫斯科附近的反导弹发射场，美国决定维持北达科他州大福克斯洲际导弹基地附近的反导弹发射场。

（撰写：段占元 审订：唐西生）

Mei Su guanyu xianzhi jingongxing zhanlüe wuqi de mouxie cuoshi de linshi xieding

《美苏关于限制进攻性战略武器的某些措施的临时协定》 interim agreement between the United States of America and the Union of Soviet Socialist Republics on certain measures with respect to the limitation of offensive strategic arms 简称《第一阶段限制战略武器条约》（SALT Ⅰ）。美国和苏联于 1972 年 5 月 26 日在莫斯科签署，同年 10 月 3 日生效，有效期 5 年。条约包括序言和 8 条正文，并附有“附加议定书”和“共同谅解声明”。主要内容是：双方保证在 1972 年 7 月 1 日以后不再建造新的陆基洲际导弹发射架，并把潜艇发射的弹道导弹发射架和现代化的弹道导弹潜艇限制在本临时协定签字之日止可供使用和正在建造中的数目。根据附加议定书的解释，美可拥有洲际导弹发射架 1054 部，苏 1618 部；美可将潜射战略导弹发射架从 656 部增至 710 部，苏可从 740 部增至 950 部，但均需相应减少洲际导弹数量。条约是美国和苏联从 1969 年 11 月 17 日开始的第一阶段限制战略武器会谈的主要成果之一，与《反导条约》同时签署。条约具有临时性和过渡性，在 5 年有效期内把双方的进攻性战略武器数量冻结在1972年的水平上，从而将业已形成的美苏核力量大体均势的局面用协议方式确定下来，并为尔后的限制和削减战略武器谈判创造了条件。

（撰写：段占元 审订：唐西生）

Mei Su guanyu xiaohui zhongcheng he zhongduancheng daodan tiaoyue

《美苏关于销毁中程和中短程导弹条约》 Treaty between the United States of America and the Union of Soviet Socialist Republics on the Elimination of Their Intermediate-range and Shorter-range Missiles 简称《中导条约》。美国和苏联 1987 年 12 月 8 日在华盛顿签署，1988 年 6 月 1 日生效，无限期有效。条约由 17 条正文和 3 个附件组成。主要内容是：(1) 缔约双方承诺在条约生效后 3 年内，消除各自所有射程在 1000～5500 km 的中程导弹及其发射装置、辅助设施和辅助设备；条约生效后 18 个月内，消除各自所有的射程在 500～1000 km的中短程导弹及其发射装置和各类辅助设备。(2) 双方均有权到对方领土及导弹部署国领土对对方的导弹基地和辅助设施进行为期 13 年的现场视察。在 3 年销毁期间，各方每年可进行 20 次核查；在尔后 5 年，各方每年进行 15 次核查；在最后 5 年，各方每年进行 10 次核查。双方应互为对方核查提供方便，不得干扰和妨碍另一方根据国际法公认原则使用现有国家技术核查手段对条约的遵守情况进行核查。美苏双方从 1988 年 7 月起开始按照条约规定销毁中程和中短程导弹，至 1991 年 5 月全部完成销毁计划。

（撰写：段占元 审订：唐西生）

Mei Su guanyu xuejian he xianzhi jingongxing zhanlüe wuqi tiaoyue

《美苏关于削减和限制进攻性战略武器条约》 Treaty between the United States of America and the Union of Soviet So-

cialist Republics on the Reduction and Limitation of Strategic Arms 简称美苏《第一阶段削减战略武器条约》(START Ⅰ Treaty)。1991年7月31日美国总统布什和苏联总统戈尔巴乔夫在莫斯科签署，1994年12月生效，有效期15年，期满后可顺延5年。条约包括序言和19条正文，并有“共同声明”、“定义”及“关于投掷重量的议定书”等多个附件。条约规定将由洲际弹道导弹、潜射弹道导弹和重型轰炸机组成的战略运载工具总数削减到每方不超过1600件，其中重型洲际弹道导弹(指苏联的SS-18)不超过154枚；战略核弹头总数削减到每方不超过6000个，其中洲际和潜射弹道导弹携带的弹头不超过4900个，重型洲际弹道导弹弹头不超过1540个，机动洲际弹道导弹弹头不超过1100个；每方洲际和潜射弹道导弹的总投掷重量削减到苏联现有水平的50%；条约确定了包括国家技术手段、数据交换、现场视察、建立合作措施等方面的核查机制，建立了“联合监察委员会”监督条约的执行情况，并解决双方可能出现的争执；条约规定在条约生效后7年内分三个阶段进行裁减，每个阶段均有商定的限额，以保持双方战略核力量的平衡。条约签署不久，苏联解体。1992年5月23日，美国与前苏联的4个核武器继承国——俄罗斯、乌克兰、白俄罗斯和哈萨克斯坦在里斯本签署了《关于履行第一阶段削减战略武器条约的议定书》，4国正式成为《第一阶段削减战略武器条约》的成员国。

(撰写：段占元　审订：唐西生)

Mei Su guanyu weihepingmudi de dixia hebaozha tiaoyue

《美苏关于为和平目的的地下核爆炸条约》 Treaty between the United States of America and the Union of Soviet Socialist Republics on Underground Nuclear Explosions for Peaceful Purposes　美国和苏联于1976年5月28日在莫斯科和华盛顿签署，1990年6月1日，在美苏签署新的条约核查议定书后生效。该条约是对美苏《极限条约》中关于为和平目的的地下核爆炸条款的细化和补充，两个条约同时生效。条约包括前言、9条正文和1个核查议定书。条约规定，自1976年4月7日起，禁止威力超过150 kt TNT的为和平目的进行的地下核爆炸，为此目的进行的“群爆炸”总威力可超过150 kt TNT，但不得超过1.5 Mt TNT。

(撰写：段占元　审订：唐西生)

Mei Su guanyu xianzhi jingongxing zhanlüe wuqi tiaoyue

《美苏关于限制进攻性战略武器条约》 Treaty between the United States of America and the Union of Soviet Socialist Republics on the Limitation of Offensive Strategic Arms　简称《第二阶段限制战略武器条约》(SALT Ⅱ)。美国和苏联于1979年6月18日在维也纳签订。条约由序言和19条正文组成。主要内容是：条约生效后半年内，每一方战略武器总数应削减为2400件，1981年底再减至2250件；在上述总限额内，陆、海、空基分导式多弹头导弹和携带远程(射程超过600 km)巡航导弹的重型轰炸机不超过1320件，其中陆基洲际导弹发射装置不超过820件，连同潜射导弹和空地弹道导弹不超过1200件；每一方在遵守分项限额情况下，可以自行决定这些限额的构成；条约对战略武器质量的改进规定了限度，规定一枚陆基导弹最多携带10个弹头，一枚潜射导弹最多携带14个弹头，一枚空地导弹最多携带10个弹头，一架重型轰炸机携带的远程巡航导弹平均不超过28枚；条约规定双方由各自的侦察卫星和其他侦察手段对履约情况进行核查时，任何一方不得进行干扰、蓄意采取隐蔽措施，或将有关新武器试验数据加密。条约签署后，美国国内围绕核查措施等问题发生分歧，在1979年苏联武装入侵阿富汗后，美国决定推迟批准条约。条约一直未能生效，但双方均表示遵守条约的各项规定。

(撰写：段占元　审订：唐西生)

Mei Su xianzhi dixia hewuqi shiyan tiaoyue

《美苏限制地下核武器试验条约》 Treaty between the United States of America and the Union of Soviet Socialist Republics on the Limitation of Underground Nuclear Weapon Tests　简称《极限条约》。美国和苏联于1974年7月3日在莫斯科签订，有效期5年，到期后可顺延5年。条约包括前言、5条正文和1个议定书，主要内容是：缔约双方自1976年3月31日起，在各自管辖或控制下的任何地方禁止、防止和不进行威力在150 kt TNT以上的一切地下核武器试验，并将各自的地下核试验限制在最低次数；条约的核查由缔约方采用各自的国家技术手段进行；为和平目的而进行的地下核爆炸不受条约限制。1976年5月28日，两国又签订《美苏和平利用地下核爆炸条约》，相互承诺为和平目的进行的地下核爆炸威力不超过150 kt TNT，为此目的进行的“群爆炸”总威力不超过1.5 Mt TNT。条约签署后，美国认为条约核查问题难以解决，建议加强核查条款，随后两国于1987年在日内瓦开始进行加强核查条款的谈判，第二年双方分别在美国的内华达核试验场和苏联的塞米巴拉金斯克核试验场进行了联合核查试验。1990年双方签署了新的核查议定书，同年6月1日，即条约签署16年后，条约才正式生效。

(撰写：段占元　审订：唐西生)

mei he meihejin

镁和镁合金 magnesium and magnesium alloys　镁和以镁为基材加入其他元素组成的合金。镁的热中子吸收截面很小(0.059 b)，镁有良好的延性，与铀的相容性好，在CO_2中的耐蚀性好。但低于100℃时，镁的塑性不好；高于400℃时，镁的晶粒度明显增大。在镁中添加锆、铝、锰、钍等合金元素可细化晶粒并提高强度和抗蠕变性能。因此，用镁合金做包壳和结构部件可在CO_2气冷堆中工作到200℃。在该温度下，当铀芯变形时，能很好地包覆铀芯，防止裂变产物向外泄出和铀芯的氧化。这类合金主要有英国的镁诺克斯合金(参见镁诺克斯合金)和法国的锆的质量分数为0.6%的Mg-Zr合金。

(撰写：王树人　审订：李文埮)

meinuokesi hejin

镁诺克斯合金 magnox alloys　以镁为基材加入少量铝、铍、锆、锰等元素组成的合金。该合金是专用作CO_2气冷堆的天然金属铀燃料包壳。由于该合金在高温CO_2中具有很好的耐蚀性，故称此合金为镁诺克斯(Magnox取自“Magnesium no oxidation”的字头，其含义是不氧化的镁)。镁诺克斯合金在CO_2冷却的石墨反应堆(350～450℃)中的氧化速率很小，即使在500℃的CO_2(CO含量为2%)中，其金属损失率也仅为20～30 μm/a；并具有较高的延展性和抗蠕变能力。如在铀燃耗3000 MWd/t以上时，其延伸率仍有约30%。该合金系列中，Magnox A180可用作包壳、弹簧、端塞、吊环；Magnox ZR 55可用作弹簧的拉环；Magnox MN 70可用来制作燃料支架。

(撰写：王树人　审订：李文埮)

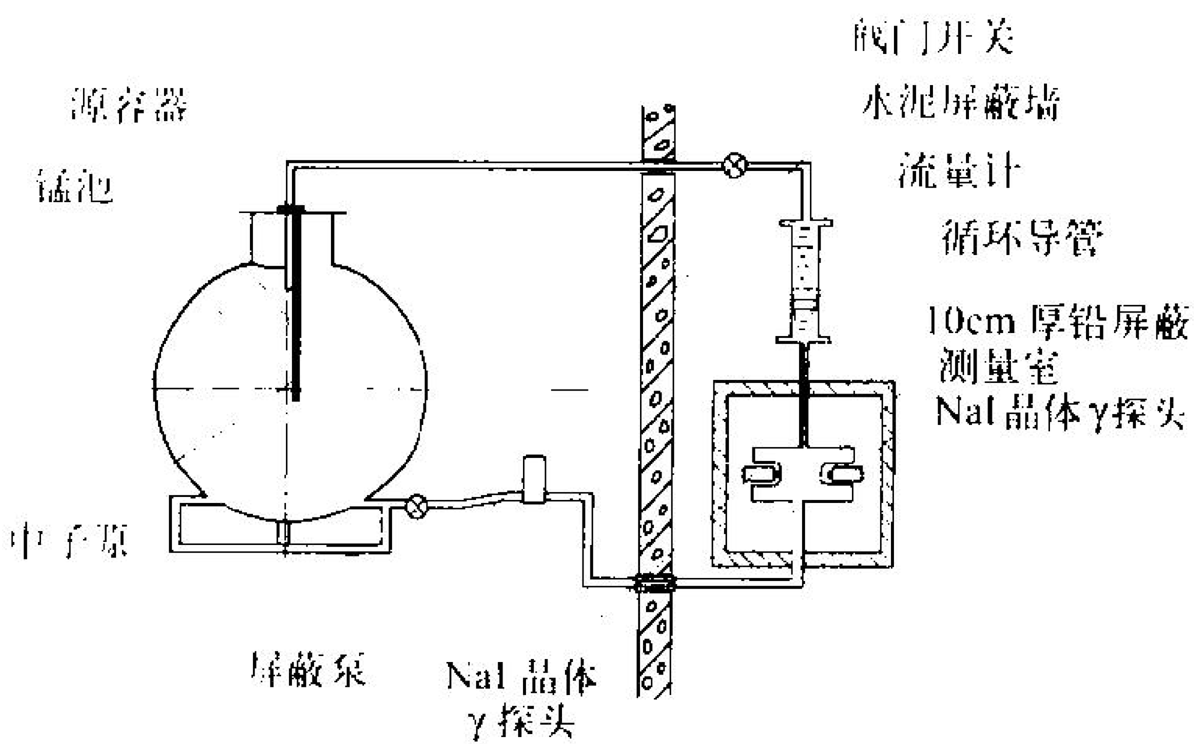
men

钔 mendelevium 一种人工放射性元素，化学符号 Md，原子序数 101，属锕系元素。半衰期最长的同位素是 ^{258}Md (51.5 d)。因纪念元素周期表的创始者、著名的俄国科学家Д.И.门捷列夫(Менделеев)而命名。现今原子序数大于100的超镄元素全部是由加速的重离子轰击重元素靶制成的。1955 年美国 A.吉奥索(Ghiorso) 等用 α 粒子轰击 ^{253}Es，首次发现 ^{256}Md，其核反应为 ^{253}Es(α，n) ^{256}Md。钔的生成截面极小，长达 3 h 的轰击实验中只生成一个 ^{256}Md 原子。后来在前苏联杜布纳联合核子研究所的 3.1 m 重粒子加速器上，用 ^{22}Ne 离子轰击 ^{238}U 靶，通过核反应 ^{238}U(^{22}Ne，p3n)^{256}Md 也曾获得数百个钔原子。半衰期最长的核素 ^{258}Md，是通过核反应 ^{255}Es(α，n) ^{258}Md 制取的。

（撰写：徐鸿桂 修订：罗文宗 审订：崔安智）

mengyufa

锰浴法 manganese bath method 测量中子源强度的一种方法。它是将待测中子源置于足够大的装满硫酸锰溶液的容器中心，中子源发射出来的中子在溶液中与各种核碰撞而慢化，慢化过程中与各种核发生核反应，产生反应的概率由单位体积内这种核的数目和该核反应截面所决定。当 ^{55}Mn俘获中子后，生成 ^{56}Mn，^{56}Mn 在 β 衰变 ($T_{1/2}$= 2.5785 h) 时，放出 γ 射线。^{56}Mn 的饱和活度与待测中子源的强度成正比，故通过测量 ^{56}Mn 的饱和活度即可确定中子源的强度。盛硫酸锰水溶液的不锈钢容器，现在多为球形，直径 1 m 左右，而 γ 射线则多用 NaI(Tl) 探测器测量。对中子源强度的测量 20 世纪五六十年代各国进行了广泛的研究。20 世纪 60 年代初英国的 E.J.Axton 建立了一套循环式锰浴装置，将活化的硫酸锰溶液用泵抽到测量室进行测量，然后回到锰池中。并且采用不同浓度的硫酸锰溶液进行测量，最后线性外推，求出中子源的强度，大大提高了测量的准确度（见图）。现在各国计



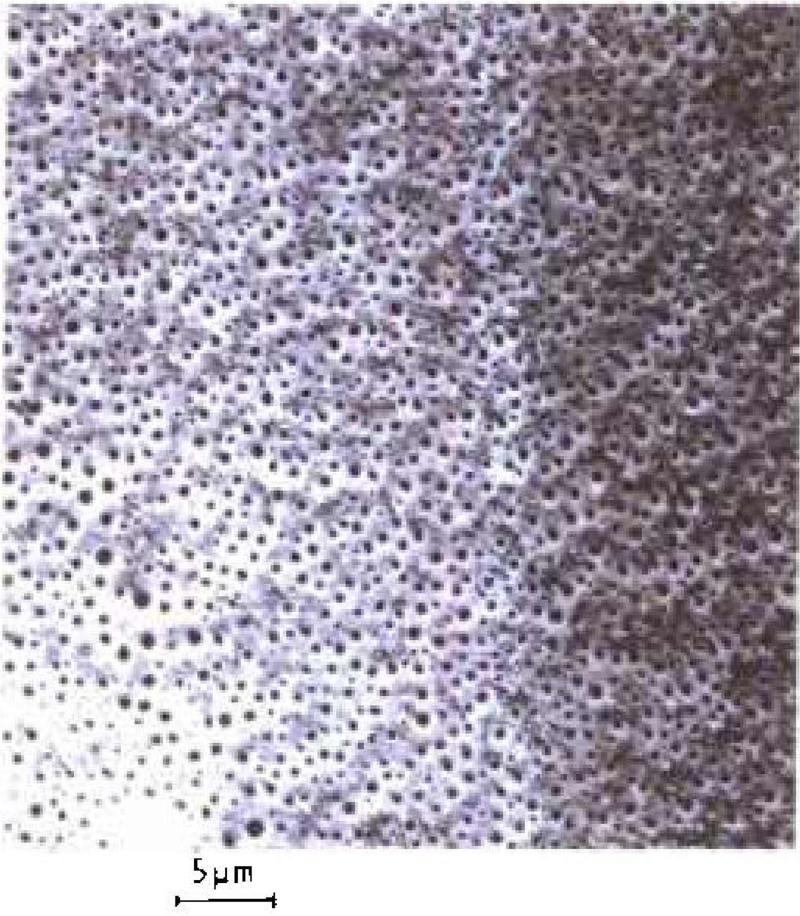
锰浴法装置示意图

量标准实验室基本上都采用这种方法。它测量的中子源强度范围一般为 10^5～5 × 10^7 s^{-1}。对 ^{252}Cf 中子源测量合成不确定度达 0.5%，而对 ^{241}Am-Be 中子源好于 1%。

（撰写：容超凡 审订：丁声耀）

misanxing ranliao

弥散型燃料 dispersion fuel 以细颗粒状燃料弥散在基体材料中组成的混合燃料。常用的弥散型燃料有 UAl_4-Al，U_3O_8-Al，$(U,Th)O_2$- 石墨和 U_3Si_2-Al 等。弥散型燃料的主要优点是：辐照损伤局限于燃料颗粒及其邻近区域内，使燃料元件达到很高的燃耗（见图）；其热学和机械性质基本上与基体材料的相近，故燃料元件的传热效率、强度、塑性和耐蚀性良好。



稳定的 U_3Si_2-Al 燃料在高燃耗下的气泡形貌
(裂变率 5 × 10^{27} fm^{-3})

根据设计和制造要求，弥散相体积份额有一定的限制，所以燃料必须采用富集铀。 （撰写：李文埮 审订：张忠岳）

mishuixing

泌水性 bleeding 又称析水性。从水泥浆中泌出部分拌和水的性能。原则上讲，水泥固化时，泌出水越少越好，消失时间越快越好。但实际上，水泥固化放射性废物时（无论桶内固化或大体积浇注）会产生一些泌出水，通常体积分数约1%～2%。在密闭情况下，泌出水应在较短时间内消失，否则视该配方不合格。因为泌出水中含有可溶性盐和放射性物质，当泌出水消失后，这些可溶性盐和放射性物质则沉积在固化体表面，导致浸出率增加。如泌出水太多且长期不消失，则影响后续的贮存、运输直至处置的安全性。所以在配方研究中测定其泌水性是必要的。泌水性是评价水泥固化配方的重要参数。 （撰写：范显华 审订：曾继述）

mibi xitong

密闭系统 confinement system 由设计者规定的并经主管当局同意的，旨在整个运输过程中维护临界安全的易裂变物质和包装部件组成的组合体。如图所示对研究堆乏燃料运输容器的密闭性能进行检查的情景。

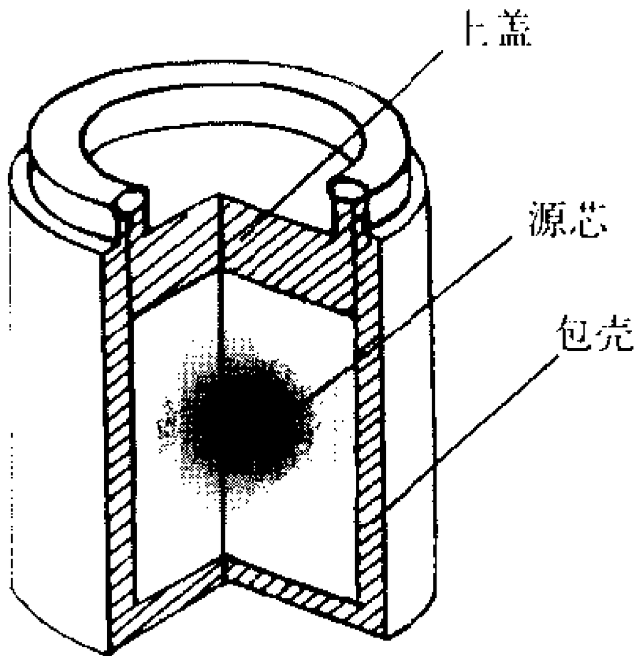


研究堆乏燃料运输容器密闭性能检查

（撰写：董柳灿 审订：赵亚民）

mifeng fangsheyuan

密封放射源 sealed radioactive source 一种密封在包壳里或有紧密覆盖层的放射源。这种包壳覆盖层应在所要求的使用条件和正常磨损情况下，具有足够的强度，以防止放射性物质的泄漏弥散。典型的密封放射源结构如图所示。主要部件包括源芯、源壳或覆盖层、源窗等。源芯是放射源的活性区，周围有包壳或覆盖层密封。包壳大多采用金属材料（如铝、不锈钢等）制成，并采用不同的焊接技术（如氩弧焊、电子束



密封放射源示意图

焊、激光焊）实施焊封。对于个别低活度或低毒性放射性物质制作的放射源，也可采用粘结剂或压封方式。对于要求覆盖层的放射源，常用金、银、钯等材料。为了确保射线的有效发射，源的活性工作面常按射线的特点，或减薄材料厚度，或采用低原子序数材料制作源窗。密封源作为一种产品使用必须按国家标准（GB 4075−83 与 GB 4076−83）进行原型源的质量分级检验和出厂时的常规检验（包括泄漏和表面污染检查等），以确保使用安全。密封放射源包壳表面应有明显的标志。 （撰写：吕延晓　审订：蔡善钰）

mifeng fangsheyuan fenji

密封放射源分级　sealed radioactive sources classification　为了确保密封放射源使用时的可靠性和安全性、国际标准化组织根据密封源内核素的毒性、活度限额、使用环境等，制定了密封放射源分级检验标准（ISO−2919）。我国国家标准 GB 4075−83 与该文件等效。密封放射源分级采用一个字母和 5 个阿拉伯数字联合表示。例如 1 个典型的无防护的工业照相源可写成 C 43515，起始的字母 C 表示源内放射性活度不超过规定限额，其余 5 个数字依次表示温度、外压、撞击、振动和穿制的试验等级（见表）。

密封放射源质量检验标准 (GB 4075−83)

检验项目	级别						
	1	2	3	4	5	6	x
温度	免检	-40℃(20min)，+80℃(1h)	−40℃(20min)，+180℃(1h)	−40℃(20min)，+400℃(1h)以及400～20℃的热冲击	−40℃(20min)，+600℃(1h)以及600～20℃的热冲击	−40℃(20min)，+800℃(1h)以及800～20℃的热冲击	专门检验
外压	免检	由绝对压力25～98 kPa	由绝对压力25～2 MPa	由绝对压力25～7 MPa	由绝对压力25～70 MPa	由绝对压力25～170 MPa	专门检验
冲击	免检	锤重 50 g，跌落距离 1m	锤重 200 g，跌落距离 1 m	锤重 2 kg，跌落距离 1 m	锤重 5 kg，跌落距离 1m	锤重 20 kg，跌落距离 1m	专门检验
振动	免检	在 49m/s²(5g)①条件下25～500 Hz 试验3次，每次 10 min	在49m/s²(5g)①条件下25～500Hz 在峰与峰之间振幅为0.635mm 时50～90Hz和在98 m/s²(10g)①条件下90～500 Hz 以上均试验3次，每次10 min	在峰与峰之间振幅为15mm时25～80 Hz和在196m/s²(10g)①条件下80～2000 Hz以上均试验3次，每次10min			专门检验
穿刺	免检	锤重1 g，跌落距离1 m	锤重10 g，跌落距离1 m	锤重50 g，跌落距离1 m	锤重300g，跌落距离1 m	锤重1kg，跌落距离1 m	专门检验

① 最大加速度振幅。

（撰写：吕延晓　审订：蔡善钰）

mifeng fangsheyuan xielou jianyan fangfa

密封放射源泄漏检验方法　leak test methods of sealed radioactive sources　为配合密封放射源的质量检验而建立的一套规范化检漏方法。这套方法已纳入国际标准化组织文件(ISO/TR4826)。该文件提出了两大类泄漏检验方法（放射性方法和非放射性方法）共 12 种（见表）。我国国家标准 GB4075 — 83 附录 E 与该文件等效。在选择泄漏检验方法时，应根据使用环境和用户要求予以确定。

密封放射源检漏方法的检测极限与允许界限

检验方法	检测极限①	不同形态源芯的允许界限②	
		不可浸出的③	可浸出的或气体的
1.湿式擦拭法 2.干式擦拭法 3.浸泡法	40～4 Bq	185 Bq	185 Bq
4.煮沸浸泡法	40～0.4 Bq	185 Bq	185 Bq
5.射气固体吸收法 6.射气液体闪烁法	4～0.4 Bq 0.4～0.004 Bq		185 Bq
7.真空鼓泡法 8.热液体鼓泡法 9.加压鼓泡法	约 10^{-6} Pa·m³/s	1.33 × 10^{-6} Pa·m³/s	
10.氦质谱法	10^{-11}～10^{-14} Pa·m³/s	1.33 × 10^{-6} Pa·m³/s	1.33 × 10^{-8} Pa·m³/s
11.氦加压法	10^{-6}～10^{-8} Pa·m³/s	1.33 × 10^{-6} Pa·m³/s	1.33 × 10^{-8} Pa·m³/s
12.压水增重法	10 μg	50 μg	

①检测极限是在有利的观察条件，对单一漏孔而言。

②按照 IAEA 安全丛书第 37 号（维也纳 1973 年版），第 749 条所载，对固体源芯漏率为 1.33 × 10^{-5} Pa · m³/s (10^{-4}Torr · l/s)，多数情况相当于放射性逸出 1850 Bq(50 nCi)，对液体或气体则为 1.33 × 10^{-7} Pa · m³/s(10^{-6}Torr · l/s) 时，相当于放射性逸出 1850 Bq(50 nCi)。

③指源芯的放射性物质实际上不溶于水，也不可能转变为可扩散的物质。

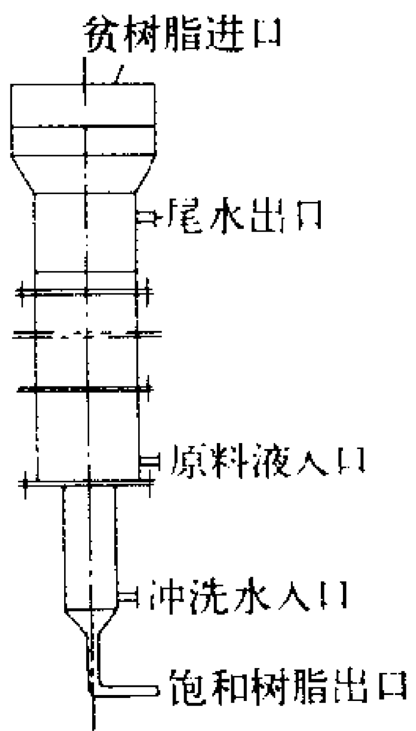
（撰写：吕延晓　审订：蔡善钰）

mifeng pingzhang

密封屏障　confinement barrier　由一道或多道实体屏障连同相应的辅助设备（包括通风设备）所构成的系统，该系统能有效地限制或防止正常和异常条件下放射性物质向外界的释放。在核电厂的四道实体屏障中（燃料基体、燃料元件包壳、反应堆冷却剂压力边界和安全壳），燃料元件包壳、反应堆冷却剂压力边界和安全壳三道屏障均为密封屏障。有时称核电厂有三道实体屏障，就特指这三道密封屏障。在操作易裂变材料或放射性物质的场所或小室，为防止放射性物质的泄漏，也多设有密封屏障。密封良好的通排风系统也可以构成密封屏障。例如，在核燃料后处理厂中，放射性物质可能从设备管道、设备室或热室进入到厂房构筑物中，并最终进入设备净化装置的通排风系统。这时，通排风系统就是最后一道密封屏障。 （撰写：刘　华　审订：吴德强）

mishi yidongchuang xifuta

密实移动床吸附塔　packed moving bed adsorption column　树脂借助重力以密实状自上而下周期性移动，吸附原液自塔底通入向上流过树脂层铀被吸附，贫液经塔上部的树脂隔离系统流出，饱和树脂周期性地从塔底排出，为较理想的逆流吸附塔，传质效率高。在我国，该装置已应用于铀水冶工业，稍后又应用于污水回用处理上。实验用塔结构如图所示。



实验用密实移动床吸附塔示意图

（撰写：许根福　审订：关自斌）

mianguan feiwu

免管废物 exempt waste 又称豁免废物。按照清洁解控水平可以免除核审管控制的废物。我国已发布了国家标准《辐射源和实践的豁免原则》GB 13367—92，采用了国际放射防护委员会(ICRP)和国际原子能机构(IAEA)建议的豁免原则。其中规定：凡对受照个人产生的年有效剂量不大于 10 μSv，一年实践所产生的集体有效剂量不大于 1 人·Sv 的单一实践或辐射源，经审管部门认可可直接予以豁免。根据上述豁免原则，国家审管部门可制定以放射性活度浓度和(或)总活度表示的值作为清洁解控水平。凡含有放射性物质大于清洁解控水平的废物属放射性废物，必须受核审管控制；含放射性物质等于或小于清洁解控水平的废物为非放射性废物，即免管废物，不需要接受核审管控制，可以作一般废物进行处理和处置。 (撰写：孙东辉 审订：潘自强)

mianyi fangshe fenxi

免疫放射分析 immunoradiometricassay (IRMA) 将过量放射性标记抗体与抗原进行免疫反应，以定量测定待测物质浓度的微量分析方法。免疫放射分析原理是待测抗原与过量的标记抗体进行结合反应，形成标记抗体—抗原复合物和剩余的标记抗体。反应平衡后，用免疫吸附剂分离过量的剩余标记抗体，然后测量残留液中的标记抗体—抗原复合物，并根据其数量推算出待测抗原的含量。1986 年 Miles 和 Hales 建立了免疫放射分析法，其灵敏度、准确性、精确性较放射免疫分析法有很大提高，特别是免疫放射分析为抗体与被测物之间的非竞争结合，操作更方便，易于推广，目前已在血 TSH、CA19—9、CA125 等方面开展临床检测。近年来又由于单克隆抗体与生物素—亲和素系统的引入，以及固相技术的发展，使免疫放射分析法的优势更显突出。

(撰写：王荣福 审订：吕延晓)

miehuo nengli

灭火能力 fire suppression capability 为了保护安全重要物项，核设施必须拥有早期探测和有效扑灭由于自然现象和人为事件引起火灾的能力。灭火能力由固定灭火系统和人工灭火设施组成。 (撰写：王秀清 审订：俞尔俊)

miehuo xitong

灭火系统 fire suppression systems 核设施发生火警时，对安全重要物项影响产生不可接受的损坏以前及时对火情进行有效控制或扑灭的系统。灭火系统在发生火警时的正常动作，误动作或意外动作必须不得妨碍为满足停堆和余热排出所需的安全系统仍能执行其安全功能。

(撰写：王秀清 审订：俞尔俊)

moni shiyan

模拟试验 mockup (simulating) test 为模拟真实过程所做的试验。它包括对自然发生的物理、化学、生物学过程和人类实践活动(如生产过程)的模拟。常见的模拟试验有用实体模型做的，也有在近似的物料或过程条件下做的。人们在科学试验中，有时受条件的限制，无法完全按照真实的过程来进行试验，或者有时为了使复杂的问题适度简化，就采用模拟试验的方法，以求了解和掌握过程的规律。在预试验中或在训练中有时也采用模拟试验的方法。模拟过程只能是真实过程一定条件下的近似。模拟条件越是近似于真实条件，模拟试验结果越接近真实过程的结果。在辐射防护中广泛地采用了模拟试验方法。比较出名的实例有：为研究电离辐射对人体组织器官产生的剂量而进行的体模照射试验；为确定事故受照人员的剂量而进行的事故照射模拟试验；为开发三废治理技术而进行的工艺模拟试验；为研究核素在大气、水体、岩土介质和生态系统中的迁移或转化规律而进行的环境模拟试验，包括大气或水体中核素弥散示踪试验，风洞试验、水工试验，以及在地下实验室、环境放射化学实验室和生态实验室中进行的试验等。应十分重视模拟试验的设计，不断地改进对客观过程的模拟能力。应对模拟试验的结果及其实际应用持谨慎的态度，不允许脱离对真实条件与模拟条件之差异的具体分析而做出泛泛的结论。 (撰写：陈式 审订：陈明焌)

moni shuzi bianhuanqi

模拟数字变换器 analog-digital converter (ADC) 把模拟信号变换成相应的数字信号的电路，简称 ADC。模数变换的过程通过采样、保持、量化和编码四个步骤来完成。根据工作原理的不同，可以分为直接模数变换和间接模数变换两大类。前者将模拟电压直接变换成数字代码，不经过任何中间变量，常见的有并联比较、反馈比较和电荷再分布等三种形式；后者先把模拟电压转换为某个中间变量，然后再把中间变量变换为输出的数字代码，常见的有电压—时间变换和电压—频率变换等形式。随着技术的发展，又出现高速、高精度和超高速的模数变换器。 (撰写：倪建平 审订：席德明)

moniyuan

模拟源 simulated source 某一种密封放射源的仿制品。模拟源包壳的结构和材料与密封源包壳相同，但其内容物则是采用其机械、物理和化学性质尽可能接近密封源内容物的材料，并且仅仅含有作为示踪剂的放射性物质。此示踪剂具有可溶于溶剂的化学形态，而该溶剂不会腐蚀包壳，示踪剂的最大活度适合在手套箱中操作，例如对于 $^{90}Sr+^{90}Y$ 可溶性盐类，2 MBq；对于 ^{60}Co 可溶性盐类，1 MBq 的活度水平是可以接受的。模拟源可以用于密封源性能分类标准检验，每类密封源的类别由其样品经历不同等级的温度、外压力、冲击、振动、穿刺等环境检验决定，衡量一个源是否合格的标准取决于该源的包容物是否泄漏，如检验泄漏的方法具有适当的灵敏度，可以检验示踪量级的模拟源。模拟源与假密封源的区别在于假密封源的内容物不含放射性物质。除了密封放射源的模拟源之外，一些用于刻度或检验仪器用的某种模拟源有时也简称为“模拟源”，例如模拟短半衰期核素辐射特征用的用长寿命核素或核素混合物制成的模拟标准源，用来模拟 ^{235}U 或 ^{239}Pu 裂变中子能谱特性的模拟裂变中子源等。

(撰写：陈明焌 审订：胡遵素)

moni zongxian

模拟总线 analog bus 一根并接在许多路模拟信号输出端上的总线。各路模拟信号可以在一定的时序控制下有序地占用这根总线。模拟总线适用于大量的高速并行输入，但可以较慢地串行输出的场合。 (撰写：倪建平 审订：席德明)

moshi

模式 model 为了某一特定目的或解决某类问题而对物理、化学、生态或生物体系(也可以是他们的综合体系)中的单个或复合过程或行为建立的一种数学模拟。有时也包括该

体系的动力学参数的特定数值。各种模式的复杂程度、参数的可得性以及模式的真实性等方面有明显的差别，当其准确度能满足使用目的的前提下，要尽量选用简单和参数易得的模式。（撰写：张永兴　审订：胡逢全）

moshi de youxiaoxing

模式的有效性　validation of model　模式的预测结果与真值（一般用观测值代替）的偏离程度。因此它有如下几种表示方法：(1) 用预测值 (P) 与观测值 (O) 之比值 (P/O) 来检验模式的有效性：P/O = 1 表示预测值与观测值无偏离；P/O 的标准差表示体系的易变性，标准差越小越好。对于概率模式，则用 P，O 期望值之比值 $[E\{P\}/E\{O\}]$ 以及它们的方差之比 $[\sigma^2(P)/\sigma^2\{O\}]$ 来检验模式的有效性，前者用以表示 P 对 O 的偏离程度，后者表示 P 的统计离散性对 O 的统计离散性的偏离程度。(2) 用均方误差及符合度来检验模式的有效性：

$$\text{定义}\quad d = 1 - \left\{\sum (P_i - O_i)^2 \Big/ \sum \left[\left|P_i'\right| - \left|O_i'\right|\right]^2\right\}$$

式中 $P_i' = P_i - E\{P\}$；$O_i' = O_i - E\{O\}$；d 称为符合度，$d = 1$ 表示 P 和 O 完全一致。（撰写：张永兴　审订：胡逢全）

moshi jianwendu

模式坚稳度　robustness of model　模式预计的结果（在辐射环境影响评价中是个人最大受照剂量和集体剂量）受输运、生态转移或生物体系模式中所有参数的不确定度联合影响的程度称之为模式坚稳度。坚稳度指数定义为

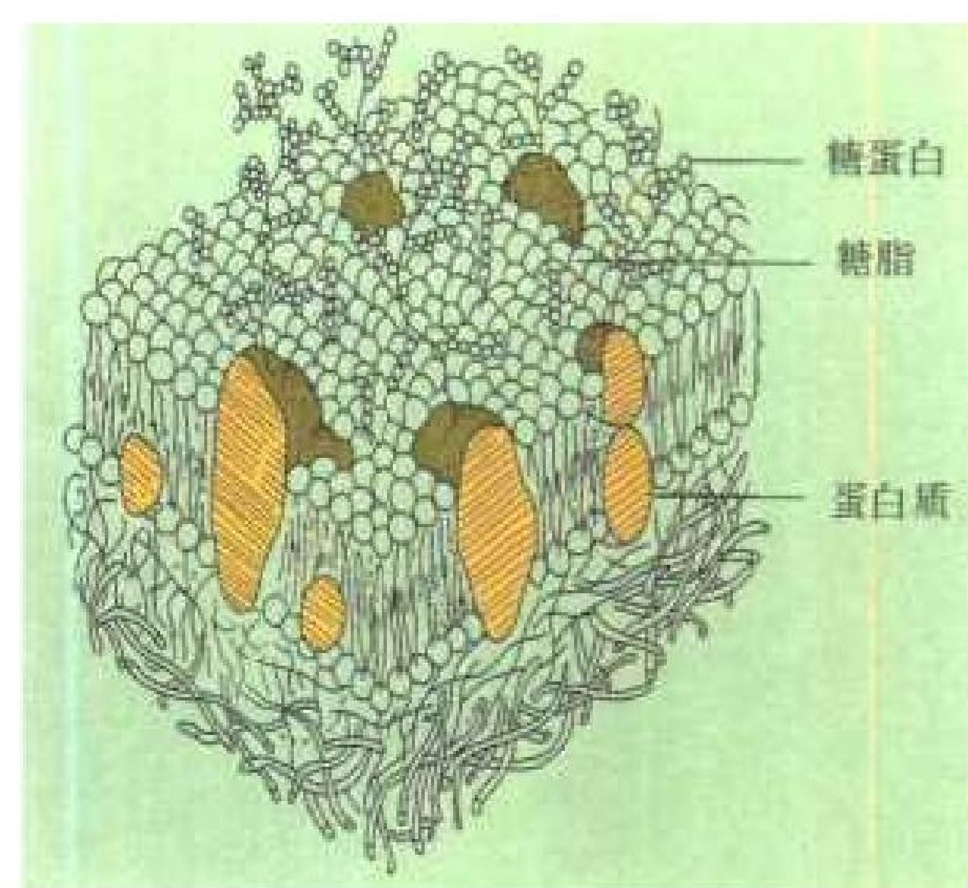
$$R(k) = \min\left[\overline{H}, H(k)\right] \Big/ \max\left[\overline{H}, H(k)\right]$$

式中 $\overline{H}$ 是根据标称系数或平均参数值算得的预示剂量；$H(k)$ 是第 k 次抽样的计算结果。显然 $R(k)$ 的域为 (0，1)，其倒数表征出现某一概率的不确定性因子。就数理统计来说，术语"坚稳度"或称为稳健度，常用来表示某一特定方法所得推论受到该方法所依据的正态分布假设的损害。在辐射环境影响评价中，这个术语表示由于位移参数偏离各自的标称值时共同造成预示剂量值变动的程度。

为了从数值上研究任一特定模式内在的固有坚稳度，使每个参数对每次抽样 (k) 都独立随机地取值而计算出一系列 $H(k)$ 值和 $\overline{H}$ 值。之后，汇综所得到的 $R(k)$ 系统，确定其算术平均值和一个或几个对应于所指定频数的 $R_{\delta n}$ 值。$R_{\delta n}(k)$ 系列的算术平均值是 $R_{\delta n}(k)$ 系统的数学期望的有限统计估计，并认为它是对该公式体系固有稳定性程度的一种度量。而对应于某个指定频数的 $R_{\delta n}$ 将预示：在少数情况下可能会更极端地偏离上述预期的坚稳度。（撰写：张永兴　审订：胡逢全）

mojiegou fushe xiaoying

膜结构辐射效应　effect of ionizing radiation on biomembrane structure　细胞的外膜（质膜）和内膜（细胞器膜与核膜）统称为生物膜。生物膜主要由蛋白质、脂质和糖类组成，在脂质双分子层中镶嵌着可移动的球形蛋白质和糖蛋白，构成典型的流动镶嵌模型 (fluid mosaic model)（见图）。膜的成分处于不断运动的状态，具有多种重要的生物学功能，如物质运送、能量转换、信息传递、细胞识别和代谢调控等。膜是电离辐射作用的重要靶。射线通过直接作用和间接作用引起膜结构的变化，从而造成细胞一系列生理生化功能的改变。辐射能量的直接吸收和传递可导致生物分子的电离与激发，使膜结构的有序性、方向性和协调性遭致破坏，从而对膜的生理功能产生深刻影响。射线的间接作用产生自由基，引发脂质的过氧化，导致膜上蛋白质和酶的损伤，影响膜的生物学功能。



膜结构流动镶嵌模型

（撰写：陈 英　审订：夏寿萱）

musibaoer puxue

穆斯堡尔谱学　Moessbauer spectroscopy　用穆斯堡尔效应研究物质微观结构的谱学方法。穆斯堡尔效应指原子核无反冲的 γ 射线共振吸收，是 1957 年由德国学者 R.L. Moessbauer 发现的。通常原子核在发射或吸收 γ 射线时会发生反冲，从而难以发生共振吸收。但是当原子核处在晶体束缚下，整个晶体反冲，反冲能量极小，有发生零声子事件的概率（称为穆斯堡尔分数），从而可能观测到无反冲发射和共振吸收。由于其共振线宽极窄，从而具有极高的能量分辨本领（典型值为 10^{-13}），使得一些难以进行的实验得以实现。例如，检验相对论的重力位移效应。此外，基于原子核与其周围环境（核外电子、晶格、近邻原子等）之间存在的超精细相互作用，有可能对原子核的能级产生影响，造成能级的位移和分裂，从而改变穆斯堡尔参数。因此根据穆斯堡尔谱学的研究可获取物质内部微观结构的重要信息，并在固体物理、化学、生物学、冶金学、地质学、甚至考古学等领域中得到应用。

（撰写：张锦荣　审订：吕延晓）

musibaoer puyi

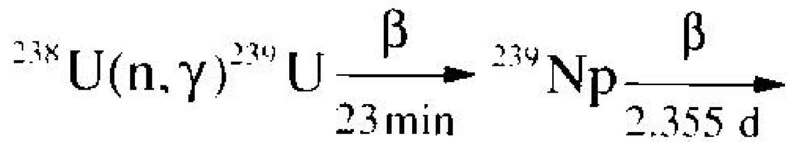
穆斯堡尔谱仪　Moessbauer spectrometer　一种利用穆斯堡尔效应测量物质超精细特性的仪器。这种谱仪一般包括一个有穆斯堡尔效应的同位素 γ 源、记录 γ 射线的探测器、电子电路以及使放射源移动的驱动系统。测量穆斯堡尔效应的方法有两种：一种是透射法，记录的是经过吸收体透射的 γ 射线，此法的实验安排简单，计数率高；另一种是背散射法，它记录的是吸收体中共振激发的原子核退激时的再发射。由于背散射法的 γ 射线、X 射线和内转换电子的特征穿透厚度不同，故可根据所考察的表面层厚度来选择探测的辐射种类，用来研究表面现象。此法对样品的厚度、形状无特殊要求，适于作非破坏性研究，缺点是计数率低。进行测量时通常是改变放射源与探测器的相对速度，即利用多普勒效应来改变发射的 γ 射线的能量，测量原子核的共振效应与 γ 射线能量的关系，用这样方法来获得穆斯堡尔效应谱。利用谱线的位置与间距，谱线的总强度以及谱中各条线之间的相对强度可以分析物质的超精细特性。该谱仪可用来研究核能级的寿命、原子核的磁矩，化合物中某些元素的状态和分布，测定某些元素的含量；以及应用于研究 −272℃ 的低温和 10^{-7} cm 的耳膜振动，陨石、岩石的成因等。

（撰写：李君利　曾 志　审订：席德明）



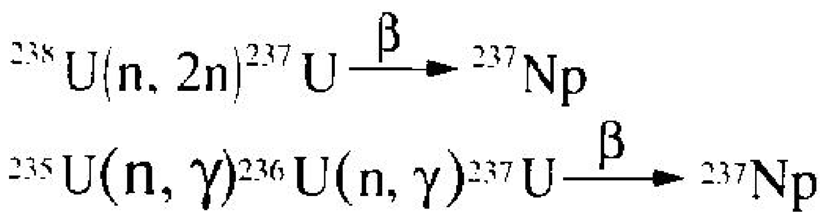
na

镎 neptunium 一种人工放射性元素，化学符号 Np，原子序数 93，属锕系元素。仿照以天王星 (Uranus)命名铀 (Uranium) 的方法，以海王星 (Neptune) 命名镎。1940 年美国 E.M. 麦克米伦 (McMillan) 和P.H. 艾贝尔森 (Abelson) 利用中子轰击薄铀片，发现了 ^{239}Np。其合成反应为：



$$^{238}U(n,\gamma)^{239}U \xrightarrow[23\,min]{\beta} {}^{239}Np \xrightarrow[2.355\,d]{\beta}$$

镎的同位素中只有微量的 ^{237}Np (2.14×10^{6}a) 和 ^{239}Np(2.355d) 在铀矿中发现，其他都是通过人工核反应合成的。镎的电子构型是 (Rn) $5f^{4}6d^{1}7s^{2}$。在水溶液中有 +3 ~ +7 五种氧化态。镎是镎在水溶液中最稳定的价态，以 NpO_2^{-} 形式存在，溶液酸度的增加使 +5 镎表现出明显的歧化倾向。可称量的 ^{237}Np 是在反应堆中由铀通过下列核反应获得的：



$$^{238}U(n,2n)^{237}U \xrightarrow{\beta} {}^{237}Np$$

$$^{235}U(n,\gamma)^{236}U(n,\gamma)^{237}U \xrightarrow{\beta} {}^{237}Np$$

^{237}Np 主要用来制备 ^{238}Pu。

（撰写：邱孝熹　修订：罗文宗　审订：崔安智）

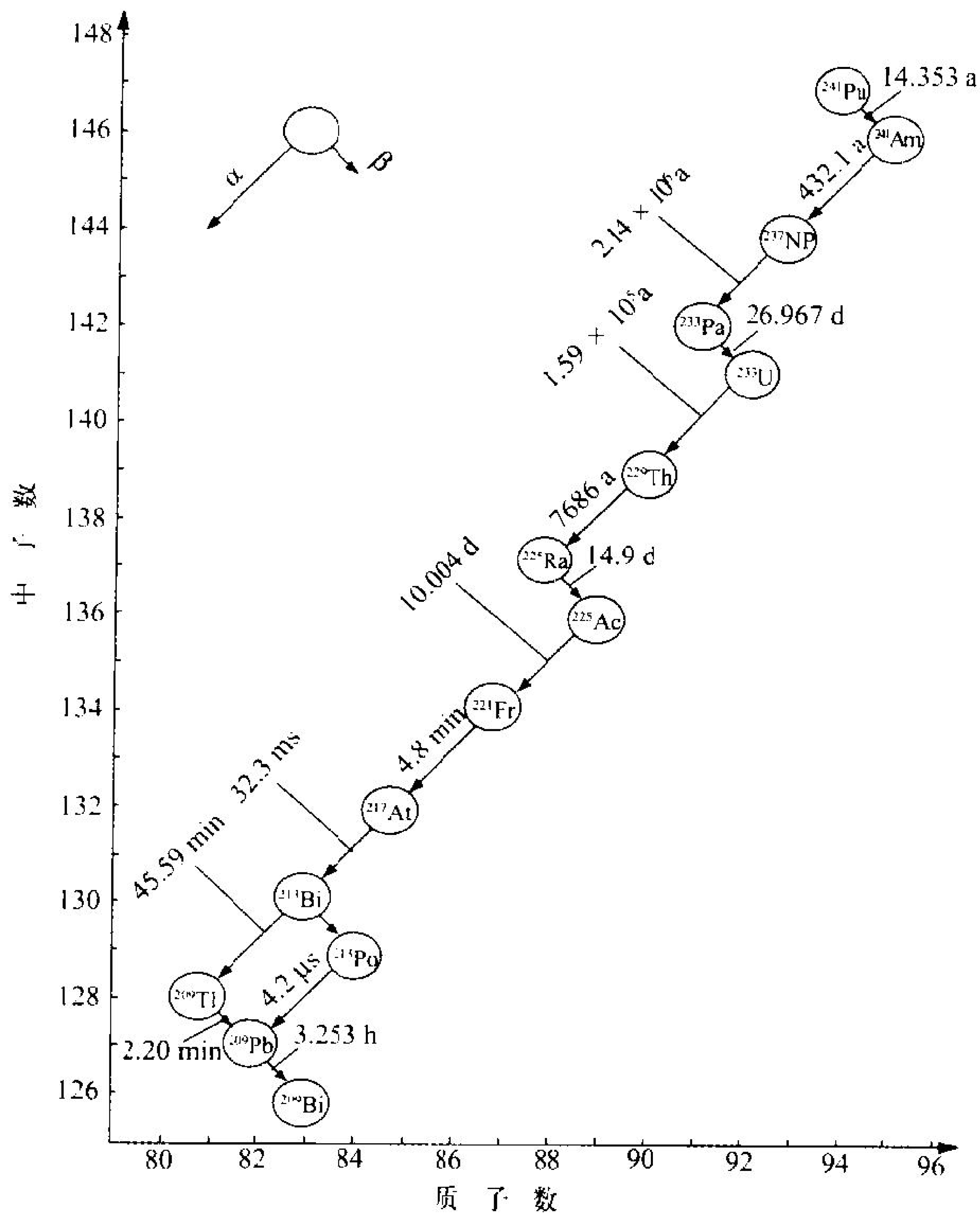
na de tiqu

镎的提取 extraction of neptunium 从辐照后的乏燃料中提取可称量的镎。在天然铀反应堆中大部分 ^{237}Np 是通过 ^{238}U (n,2n) 反应及 β 衰变产生的，而在 ^{235}U 丰度较高的反应堆中，特别是在高燃耗时，^{237}Np 主要是经过 ^{235}U 两次俘获中子生成。铀燃耗为 33 000 MW d/tU 的压水堆低加浓铀乏燃料中含 ^{237}Np 为 600 ~ 760 g/tU。根据硝酸溶液中四价和六价镎容易被萃取而五价镎不易被萃取的性质可以控制镎在普雷克斯流程中的走向。镎的提取一般有两个方法：一是把大部分镎调为五价，赶入高放废液，用溶剂萃取或离子交换的方法提取镎；另一种方法是将镎调为六价，在共去污槽与铀、钚共萃，在以后铀线或钚线纯化循环中将镎分离出来。第一种方法的优点是镎的收率较高，同时可以回收废液中的钚。缺点是放射性强，安全防护要求高；第二种方法的优点是防护要求不高，增加设备少。缺点是涉及面广，对控制和操作要求严格，镎的收率不高。

（撰写：叶国安　审订：朱永睿）

naxi

镎系 neptunium series 又称 4*n*+1 系。从 ^{237}Np 到 ^{209}Bi，质量数按 4*n*+1 (*n* 为正整数) 规律变化的人工放射性衰变系。镎系还可以从 ^{237}Np 上溯到 ^{241}U，但由于 ^{237}Np 的半衰期比前面所有的母体的半衰期都长得多，故而把它命名为镎系。与3个天然放射系不同的是最终稳定核素不是铅，而是 ^{209}Bi，并且其成员中没有氡的同位素。镎系的衰变系如图所示。



镎系衰变系图

（撰写：张丕禄　审订：郭景儒）

NaI shanshuoti

NaI (Tl) 闪烁体 NaI (Tl) scintillator 一种由无色透明的碘化钠晶体构成的无机闪烁体。它通常以铊作激活剂，其符号为 NaI (Tl)。它在室温下的一般性质见表。除了拉制单晶外还可将 NaI (Tl) 晶体碎块加热、加压制成热煅压多晶 NaI (Tl) 闪烁体。在光学与闪烁性能方面，热煅压多晶 NaI (Tl) 闪烁体与单晶 NaI (Tl) 闪烁体相同。热煅压多晶闪烁体可以做得很大，制成各种形状，而且各种形状一次成型，不必像单晶那样进行复杂机加工。为了防止潮解，通常用铝等金属盒将碘化钠晶体密封起来使用，和光电倍增管耦合的一面采用光学玻璃等做光窗，晶体与盒之间充填氧化镁粉一类的光漫射反射层材料。晶体和光窗之间采用硅油或其他耦合剂作光学耦合。碘化钠闪烁体的平均原子序数较大，密度较高，适用于测量 γ 及 X 射线。对 γ 射线具有较高的探测效率，能量分辨本领较好。

NaI (Tl) 闪烁体的一般性质表

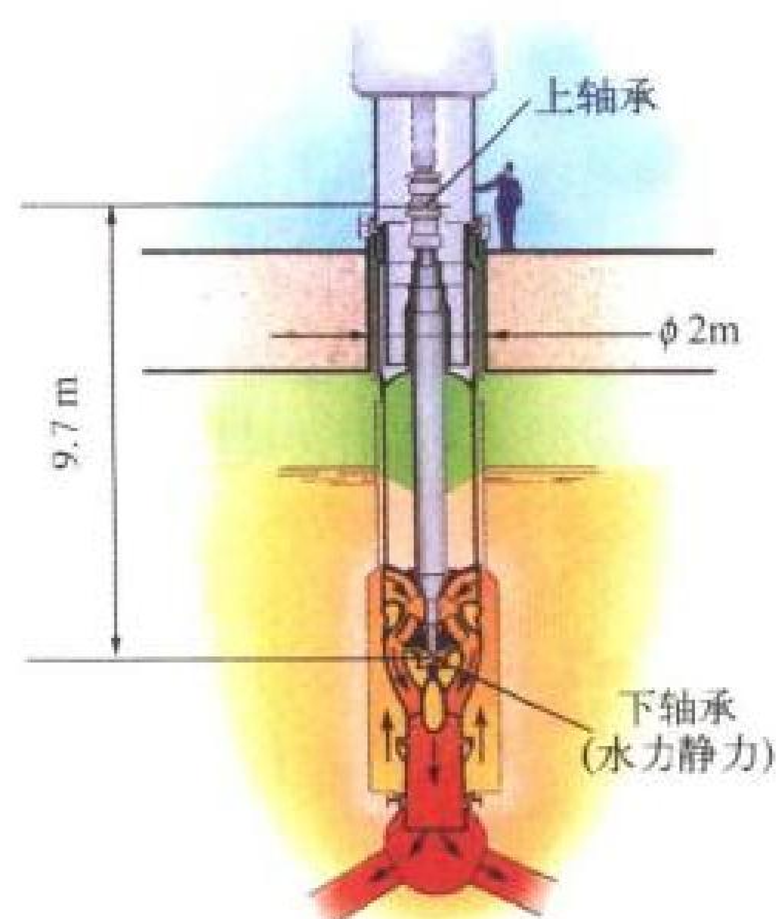
密度 /(g/cm³)	3.67
熔点 /℃	651
发射带 /nm	415
闪烁衰减时间 /ns	230
能量转换效率	0.12
折射率：Na的D线 (589.3 nm)	1.77
发射带 (415 nm) 处	1.85

碘化钠闪烁体是当今探测 γ 射线应用最广的闪烁探测器器件。

（撰写：汲长松　审订：彭华寿）

na jixiebeng

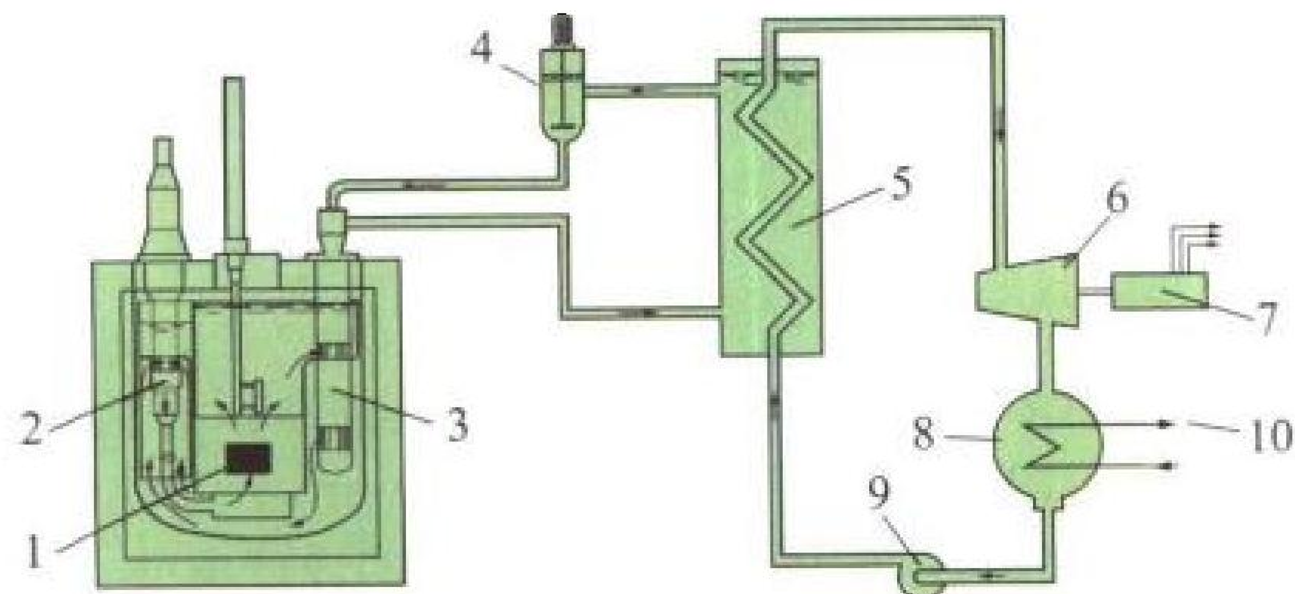
钠机械泵 mechanical sodium pump 又称钠循环泵。钠冷快堆一、二回路主系统冷却介质(钠)的循环泵(见图)。钠冷快堆的热传输系统采用钠—钠—水三回路方式：一、二回路的冷却介质为钠，三回路的冷却介质为水和蒸汽。大多数钠冷快堆，特别是大功率快堆，都采用立式离心机械泵作为一、二回路主系统的钠循环泵。一、二回路的辅助系统，由于功率和管道直径较小，仍采用电磁泵作为钠循环泵。钠机械泵与普通离心式机械泵相比有如下特点：主要结构材料为与钠介质相容的奥氏体不锈钢；在钠中旋转的主轴轴承采用钠本身为介质的液力轴承；钠自由液面上部的覆盖氩气的密封采用双端面机械密封。 (撰写：萧勋泽 审订：田传久)



钠机械泵示意图

naleng kuaizhongzi zengzhidui hedongli zhuangzhi

钠冷快中子增殖堆核动力装置 sodium-cooled FBR nuclear power unit 用钠冷快中子增殖堆为热源的核动力装置。它有三个回路，即在带放射性的一回路与水—汽回路之间加了一个中间回路(见图)。由于快中子堆具有增殖核燃料的能力，



钠冷快中子增殖堆核动力装置流程原理图

1—堆芯；2——回路钠泵；3—中间热交换器；4—中间回路钠泵；5—蒸汽发生器；6—汽轮机；7—发电机；8—凝汽器；9—给水泵；10—凝汽器冷却水

因而这种装置被认为是核能长期持续发展的基础，可为防止将来铀资源匮乏起不可替代的作用。不过目前由于它造价比热中子堆核动力装置还高，因此还不可能大规模商用。它产生的蒸汽温度可达 500 ℃左右，可以采用常规汽轮机，热效率也较高。 (撰写：陈叔平 审订：连培生)

naleng kuaizhongzi zengzhidui ranliao zujian

钠冷快中子增殖堆燃料组件 LMFBR fuel assembly 用于钠冷快中子增殖堆的燃料组件。它由一个内装燃料棒束的六角形套管和端部连接件组成。燃料棒按正三角形密集栅排列，用棒表面的螺旋状不锈钢绕丝定位。燃料棒由活性段燃料 (U, Pu) O_2 芯块、上下转换段贫化 UO_2 芯块、压紧弹簧和包壳等组成(见图)。燃料棒内上下端部都有贮存裂变气体的空腔燃料棒直径 5～8 mm。包壳采用冷加工态奥氏体不锈钢，壁厚约 0.4 mm。



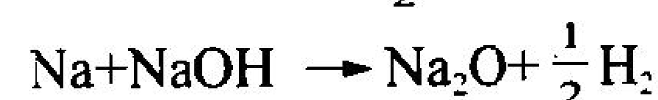
钠冷快中子增殖堆燃料组件示意图

(撰写：谢光善 审订：张忠岳)

na shui fanying

钠—水反应 sodium-water reaction Na 与水或水蒸气接触时伴随有升温、爆燃和发光等现象的化学反应。该现象常见于快中子堆蒸汽发生器传热管破损部位，严重时会造成设备损坏和人身事故。钠水反应主要按下列方程进行


$$Na+H_2O \rightarrow NaOH+\frac{1}{2}H_2+140\ kJ/mol$$


$$Na+NaOH \rightarrow Na_2O+\frac{1}{2}H_2$$

其过程分三步：(1) 局部微小泄漏引起周围温度升高；(2) 泄漏量增大，温升剧增，反应产物 Na_2O 等向邻近传热管喷射、发生穿孔；(3) 泄漏孔迅速扩大，传热管破损量增多，温度、压力急剧升高，引起大泄漏和蒸汽发生器损坏。为了将钠水反应扑灭在萌芽期，国内外都开发研制高灵敏度 (0.005×10^{-6}) 测氢仪，对钠水反应进行早期监测。一旦测出有此反应，再进行噪声、温度等测量进行定位，采取堵管措施。因为钠水反应多数由管材和焊接质量问题所引起，所以在蒸汽发生器的设计和加工中应严格加强质量管理。

(撰写：谢惠佑 审订：李文埮)

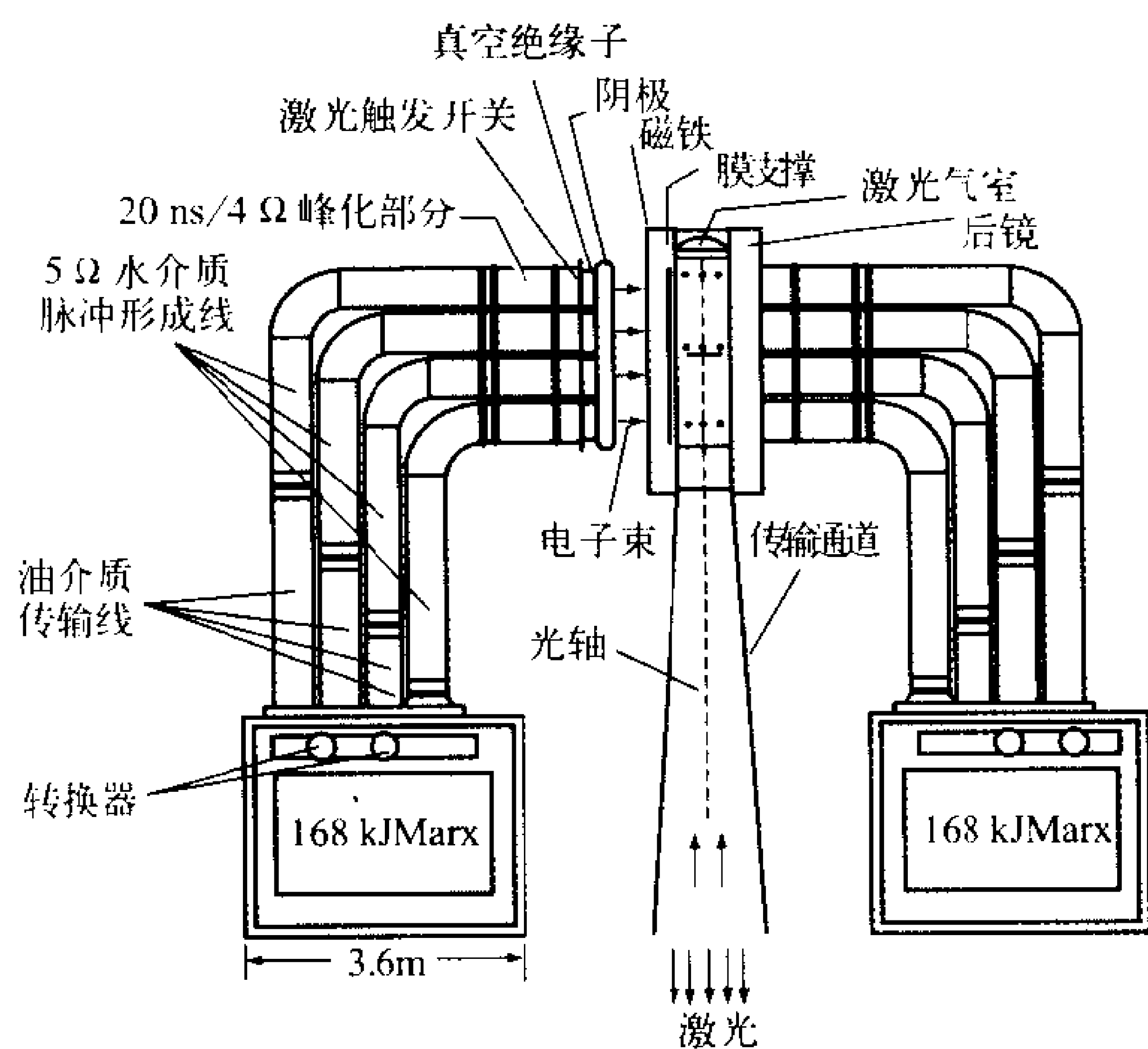
na shui zhengqifashengqi

钠—水蒸气发生器 sodium-water steam generator 钠冷快堆中将中间回路钠的热能传输给给水—蒸气回路的水使之转换成高压过热蒸气的热交换设备。它的壳侧为压力约 0.35 MPa、温度约 500℃的钠，管侧为压力约 14 MPa 的水和蒸气。产生约 480℃的过热蒸气输送到汽轮机发电。为了防止换热管泄漏时发生钠水反应事故，早期的钠—水蒸气发生器曾采用双层换热管结构，在两层管之间填充传热性能好的中间介质。但这种结构的热效率太低，因而已被淘汰，现在均采用单层换热管。为了预防大的钠水反应发生，研制了钠水反应早期诊断系统，即高灵敏度的微量氢监测系统，加上限制事故扩大的措施，形成较为完整的钠—水蒸气发生器事故保护系统。该系统由小漏、中漏和大漏监测系统、爆破膜系统、供水和供钠隔离系统、钠水反应产物收集系统等子系统组成。已建成的钠冷快堆运行经验表明，尽管小漏不能绝对避免，但能做到早期发现、及时隔离、限制事故后果，不会危及反应堆安全。有的快堆核电厂采用多模块式蒸气发生器结构，一旦某个蒸气发生器模块发生破损，可以将它及时隔离，不致影响核电厂继续运行。

(撰写：萧勋泽 审订：田传久)

naike jiguang zhuangzhi

奈克激光装置 Nike laser facility 美国海军实验室 56 束角多路传输氟化氪气体激光装置。它可产生 4～5 kJ，4 ns，248 nm 激光。由前端（放电抽运激光器阵列），两级电子束双向抽运双程放大器，光学系统，靶室和控制系统组成。两级电子束抽运放大器由输出能量 150 J，口径为 20 cm 的预放大器和输出能量为 4000～5000 J，口径为 60 cm 的主放大器组成。如图所示为 60 cm 放大器总布置图。采用无阶梯光栅诱导空间非相干（ISI）光束平滑技术，束的均匀性是现有激光器中最好的，焦斑分布半高宽 750 μm 的 37 束激光同时叠加在靶上时，非均匀性约为 0.3%。该装置已用于烧蚀加速产生的平面靶流体力学不稳定研究。



60 cm 放大器总布置图

（撰写：马维义　审订：单玉生）

naihuo nengli

耐火能力 fire resistance capability 核设施和构筑物结构构件在规定的时间内保持必要的耐火稳定性、耐火完整性和（或）热绝缘性的能力。（撰写：王秀清　审订：俞尔俊）

naijiuxing

耐久性 durability 又称化学耐久性。废物固化体抵抗气体、水、酸、碱或各种化学试剂侵蚀的能力。可分为耐水性、耐酸性、耐碱性等。废物固化体除受到环境作用，如地下水浸泡作用、微生物侵蚀作用等外，还受到自辐照和自身衰变热作用，还有固化基材本身的老化、降解作用等。废物固化体要求与人类生活环境长期安全隔离，耐久性是人们高度关心的问题。（撰写：汤宝龙　审订：罗上庚）

nanji tiaoyue

《南极条约》 Antarctic Treaty 阿根廷、澳大利亚、比利时、智利、法国、日本、新西兰、挪威、苏联、英国、美国、南非于 1959 年 12 月 1 日在华盛顿签订，1961 年 6 月 23 日生效，无限期有效。条约旨在保障和促进南极和平利用、科学考察自由和国际合作，到 1991 年 3 月，共有 39 个国家批准或加入该条约。条约由序言、14条正文和最后议定书组成。条约确认南极应只用于和平目的，禁止在南极采取一切具有军事性质的行动，禁止进行任何核爆炸和处置放射性废料，同时条约冻结了各国对南极洲的领土主权权利和领土要求，但保证在南极科学考察的自由和促进科学考察方面的国际合作。《南极条约》确立了对南极洲考察应为和平目的服务的原则，缓和了有关国家在南极洲领土归属上的矛盾，促进了各国在考察和研究活动中的国际合作和对南极地区生态平衡的保护。它也是通过建立一个非军事化区并保证不向指定地区引进核武器的第一个国际条约。

（撰写：段占元　审订：唐西生）

nantaipingyang wuhequ tiaoyue

《南太平洋无核区条约》 South Pacific Nuclear-free Zone Treaty 1975 年由新西兰和斐济向第 30 届联大提出《南太平洋无核区》提案，并获得通过。1985 年 8 月 6 日，"南太平洋论坛"13国首脑在库克群岛的拉罗汤加缔结，故又称《拉罗汤加条约》。1986 年 12 月 11 日生效，无限期有效。条约由 16 条正文和 3 个议定书组成，主要内容是：(1) 正式宣布南太平洋为无核区。规定该区范围为：西起澳大利亚靠印度洋的海岸，东至东太平洋与拉美无核区相连接，北起赤道以北的基里巴斯，南至南纬 60° 与南极洲无核区相连接。(2) 在该地区禁止使用、拥有、试验或部署核武器或核爆炸装置，禁止堆积、倾倒核废料。(3) 不得向未接受《不扩散核武器条约》规定的安全保障条件的非核国家和未与国际原子能机构达成安全保障协定的核国家提供任何核材料和设备。(4) 缔约国可自行决定是否允许载核飞机或舰只进入本国领空和领海以及在其机场或港口停留。(5) 第 1 议定书要求美国、英国、法国承诺在该地区各自的属地实施上述规定。(6) 第 2、第 3 议定书要求核国家不对该地区使用或威胁使用任何核武器和不在该地区进行核试验或倾倒核废料。我国于 1987 年 2 月 10 日签署并于 1988 年 10 月 21 日批准了有关议定书。1996 年 1 月 29 日，法国宣布停止其在南太平洋地区的核试验。1996 年 3 月25日，美国、英国和法国共同签署了该条约的有关议定书。

（撰写：段占元　审订：唐西生）

naozhong moxing

"闹钟"模型 Alarm Clock design 美国在探索氢弹设计原理过程中，1946 年 9 月由 E.特勒（Edward Teller）提出的在内爆原子弹铀惰层内放 ^{6}LiD 聚变燃料的设计模型。利用核裂变放能点燃聚变燃料的办法，最早想到的是在内爆原子弹的裂变芯与惰层之间放一层聚变燃料。最初的聚变燃料是氘、氚或它们的混合物。后来认识到了使用固态热核燃料 ^{6}LiD 的好处，^{6}Li 在吸收裂变中子后会产生氚，而在热核反应感兴趣的温度段，氘—氚反应的速率大约是氘—氘反应的 100 倍。以后就用氘化锂作热核燃料。由于受当时计算机条件的限制，1947 年 9 月"闹钟"模型的研究被搁置，后来也没有做过核试验。这种模型中，热核聚变并未充分发展，只起加强裂变的作用，因此不是真正的氢弹模型。

（撰写：郑绍唐　审订：竺家亨）

neibao donglixue

内爆动力学 implosion dynamics 研究聚心压缩及其规律的科学。惯性约束聚变中，球形内爆聚心压缩造成被压缩材料的高温高密度状态，实现热核点火和燃烧。按内爆驱动方式可分为直接驱动和间接驱动；按驱动机制可分为烧蚀驱动和压力驱动；按内爆特性又可分为高熵、等熵、等压、等容内爆。内爆过程包括烧蚀驱动、聚心压缩、中心阻滞，及其后的飞散过程等。从研究炸药爆轰过程开始，爆轰力学就成了一门独立的学科，更由于其在核武器和惯性约束聚

变中的应用而得到发展，形成了完整系统的内爆动力学。

（撰写：李泫生　审订：常铁强）

neibaofa yuanzidan

内爆法原子弹　implosion-type atomic bomb　又称压紧型原子弹（见图1）。用炸药爆炸产生的内聚冲击波压缩裂变材料系统，使其向心内聚、增大密度，从次临界状态过渡到超临界状态，引发链式裂变反应形成爆炸的一种原子弹（见图1）。内爆法原子弹的优点是裂变材料装量比枪法原子弹少得多，利用率高得多；另外，从次临界过渡到最大超临界的时间很短，只有几微秒，因此由游散中子引发过早点火的概率较小。但研制内爆系统与中子源的技术难度较大；对内爆对称性要求高，因此必须精心设计和有很高的加工、装配精度。美国1945年8月9日投在日本长崎的“胖子”原子弹就是一枚内爆法原子弹（见图2）。

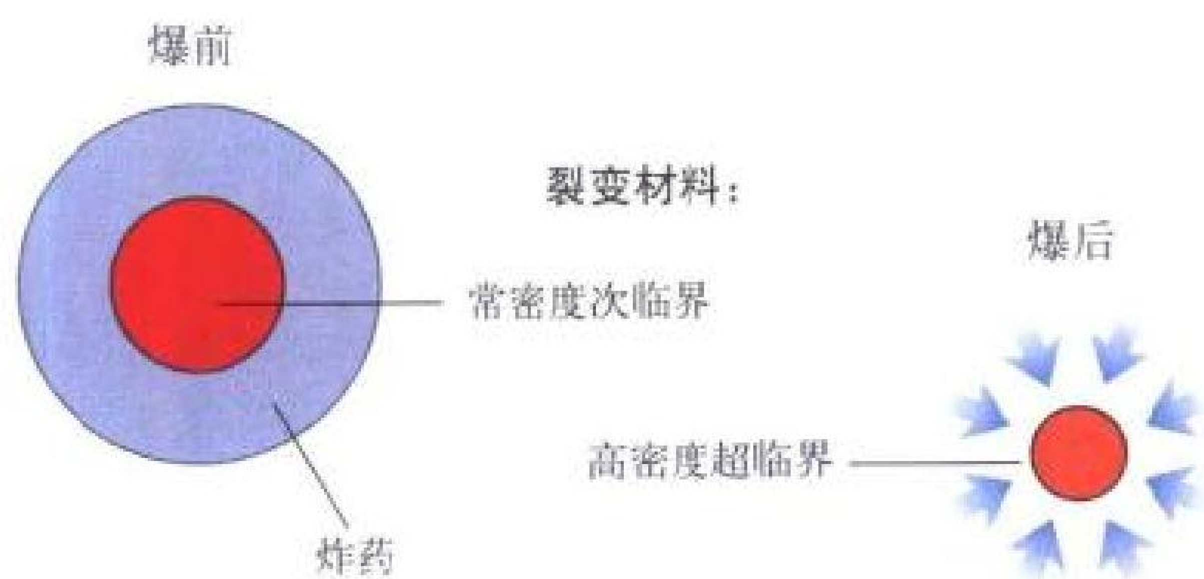


图1　内爆法原子弹原理图

图出处：http://www.fas.org/nuke/intro/nuke/design.htm

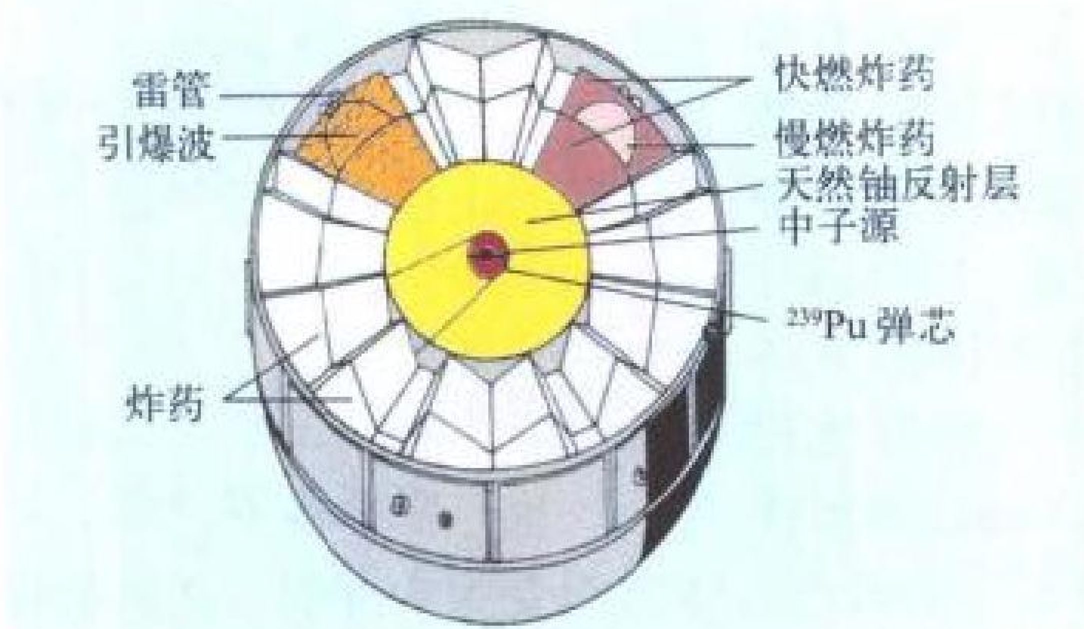


图2　美国内爆法原子弹“胖子”示意图

图出处：［美］理查德·罗兹著.原子弹出世记.李汇川等译.北京：世界知识出版社，1990.653

（撰写：郑绍唐　审订：徐西新）

neibao yasuo ji dengliziti zhenduan

内爆压缩及等离子体诊断　implosion compression and plasma diagnostic　内爆过程和热核燃料等离子体状态的测量。高时空分辨的X射线皮秒分幅技术和X射线条纹相机加多针孔成像技术是获取内爆压缩时空信息的主要诊断技术。在靶丸推进层与DT燃料内掺示踪元素，采用高能量分辨晶体谱仪测量示踪元素离子谱线强度比和斯塔克（Stark）加宽可得到等离子体电子温度和密度以及瑞利—泰勒不稳定性造成的混合量。X射线环孔显微镜配MCP选通X射线皮秒分幅相机和菲涅尔波带板编码成像可得到内爆芯部压缩图像。另外背光成像技术也是诊断内爆压缩特征的有效方法。

（撰写：成金秀　审订：江文勉）

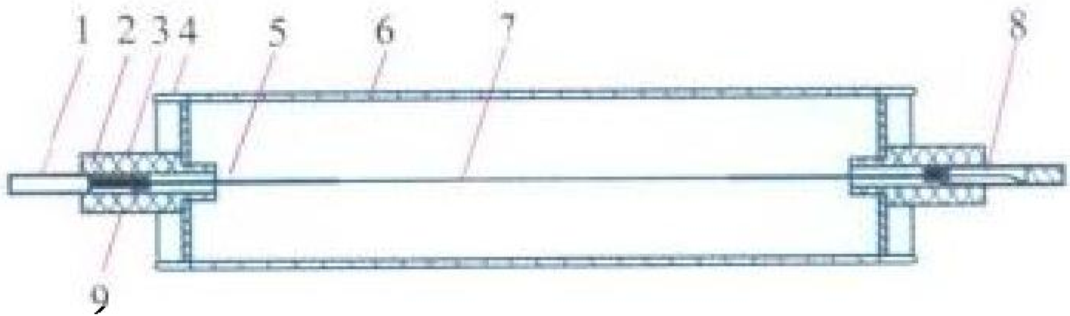
nei bianjieceng

内边界层　internal boundary layer　气流从一种下垫面进入到热力、动力性质不同的下垫面，在原来边界层下部产生的新边界层。一种情况是空气从一种粗糙度的地面流动到热力性质相同但粗糙度不同的新地面上。自两种下垫面交界处开始，湍流和气象要素廓线特征自下而上逐渐调整适应新的地面，而上部仍旧保持原有边界层的动力学特性。这种已适应新地面性质的气层称动力内边界层。不同粗糙度地面上的流动是自然界的普遍现象，在粗糙度差异大的过渡气流情况下大气扩散计算应合理地考虑扩散公式或扩散参数的变化。另一种情形是气流从一种地面进入热力性质不同的地面所形成的新边界层，主要出现于温度和地面湍流热通量差别大的地表之间。其中以海岸带和大湖沿岸出现的热内边界层（thermal internal boundary layer, TIBL）最为典型。当温度层结稳定或近中性的冷气流从海面吹向热的陆地时，其上部仍保持海上的弱湍流状态，下部受陆地的强烈加热形成了强不稳定和具有强湍流混合能力的内边界层。热内边界层的性质与通常的混合层相似，但其厚度从海岸线向内陆逐渐增加，最终与内陆混合层融为一体。受热内边界层顶的抑制，海岸线附近的低矮烟羽呈现陷阱型扩散。热内边界层以上高架排放的浓密烟羽与热内边界层相截时，污染物将迅速混合扩散到地面，形成海岸带熏烟扩散，造成局部范围但可持续到向岸流消失始告结束的长时间高浓度污染。热内边界层多出现在春季和夏季水陆温差大的海岸和大湖岸带。我国南方沿海以夏季副热带高压控制的天气最为常见。沿海沿湖通常是人口与污染源密集区，热内边界层是滨海滨湖核电厂和非核企业大气环境影响分析值得重视的中小尺度气象现象。

（撰写：陈家宜　审订：蔡旭晖）

neichongqi zhengbiguan

内充气正比管　internal gas proportional counter　一种可将放射性气体样品与工作气体按一定比例充入管内，进行放射性活度绝对测量的正比管（见图）。这种方法避免了源的自吸收、散射及其他吸收。管的阴极一般用铜管或不锈钢管，阳极用不锈钢丝或镀金钨丝。此种管要用专用排气及充气真空



内充气正比管示意图

1—排气管；2—绝缘子（陶瓷）；3—小弹簧（钨丝）；4—顶盖（不锈钢）；5—保护管（ϕ0.5 mm）；6—阴极管（不锈钢）；7—阳极丝（ϕ0.05 mm钨丝）；8—阳极引出线（ϕ0.1 mm镍丝）；9—排气孔

系统。内充气正比管的坪长一般可达300 V左右，坪斜小于0.5%/100 V。该种管用于^{3}H，^{14}C，^{41}Ar，^{85}Kr及^{133}Xe等β放射性气体核素活度的绝对测量，测量中需进行端效应、壁效应及阈效应等校正。测量活度值的总不确定度可达千分之几的水平。

（撰写：姚历农　审订：彭华寿）

nei dianci maichong

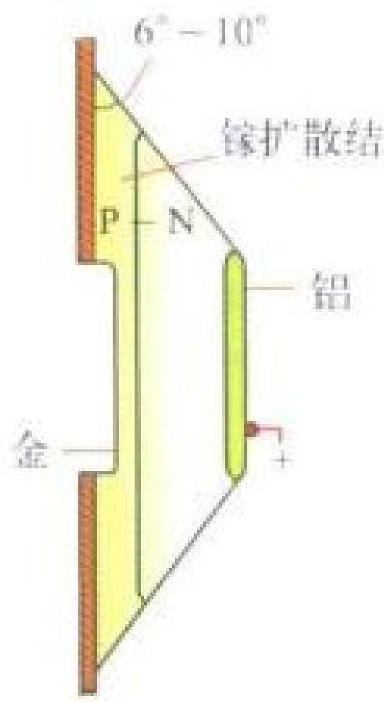
内电磁脉冲　internal electromagnetic pulse (IEMP)　核爆炸瞬发γ辐射照射金属腔体后在腔体内激励的电磁场。内电磁脉冲仅局限于金属腔体内。这个金属的腔体既可是导弹、卫星的某个部分，也可以是诸如同轴电缆内外导体间的空间。由于金属腔体的存在，内电磁脉冲的波形中大部分成分是高频振荡，波形的持续时间也较短，但它仍能对系统造成干扰和破坏。内电磁脉冲的强度除了与γ辐射强度有

关外，与腔内介质的特性、腔体的尺寸和腔内的气体密度关系密切。高强度的γ辐射在电子设备内可产生数万伏每米的电场，能干扰和损毁电子设备。核袭击时，是外空间飞行的卫星、导弹等的一个潜在破坏因素。

（撰写：华 鸣 审订：乔登江）

neifangda bandaoti tanceqi

内放大半导体探测器 avalanche multiplying semiconductor detector 一种信号相对于噪声被优先放大的雪崩型半导体探测器，像气体正比计数器一样对信号进行内放大。它也是一种结型探测器，如图所示。在P-N结整个空间电荷区建立一个适当的电场，使电离事件产生的载流子被加速从而获得足够能量，这些载流子再与晶格价电子碰撞又产生新的电子、空穴的级联反应，这样的级联过程使初始信号得到显著的放大。当电场高于2 × 10⁴ V/cm时，在P-N结的耗尽层中可以观测到次级倍增过程。为保证P-N结上能加上达到雪崩放大的高反向电压，所以采用N型硅进行镓的深扩散并构成等斜面的几何结构。现在采用新的平面等斜面工艺，既可制备出大面积的内放大光电二极管探测器（avalanch photo diode detector，APDD），也可制备出阵列结构的APDD。



等斜面硅雪崩探测器图

（撰写：丁洪林 审订：李广将）

neisheng youkuangchuang

内生铀矿床 endogenic uranium deposit 由地球内部应力引起的物质演化过程中分离出来的能量（热能、位能）所导致的（内生）地质作用，包括大地构造作用、岩浆作用、变质作用、热液作用所形成的铀矿床。内生铀矿床通常形成于地壳内部的一定深处，即较高的温度和压力条件下。根据成矿作用的种类，内生铀矿床还可进一步细分为岩浆铀矿床、伟晶岩铀矿床、接触交代铀矿床、热液铀矿床和变质铀矿床等。

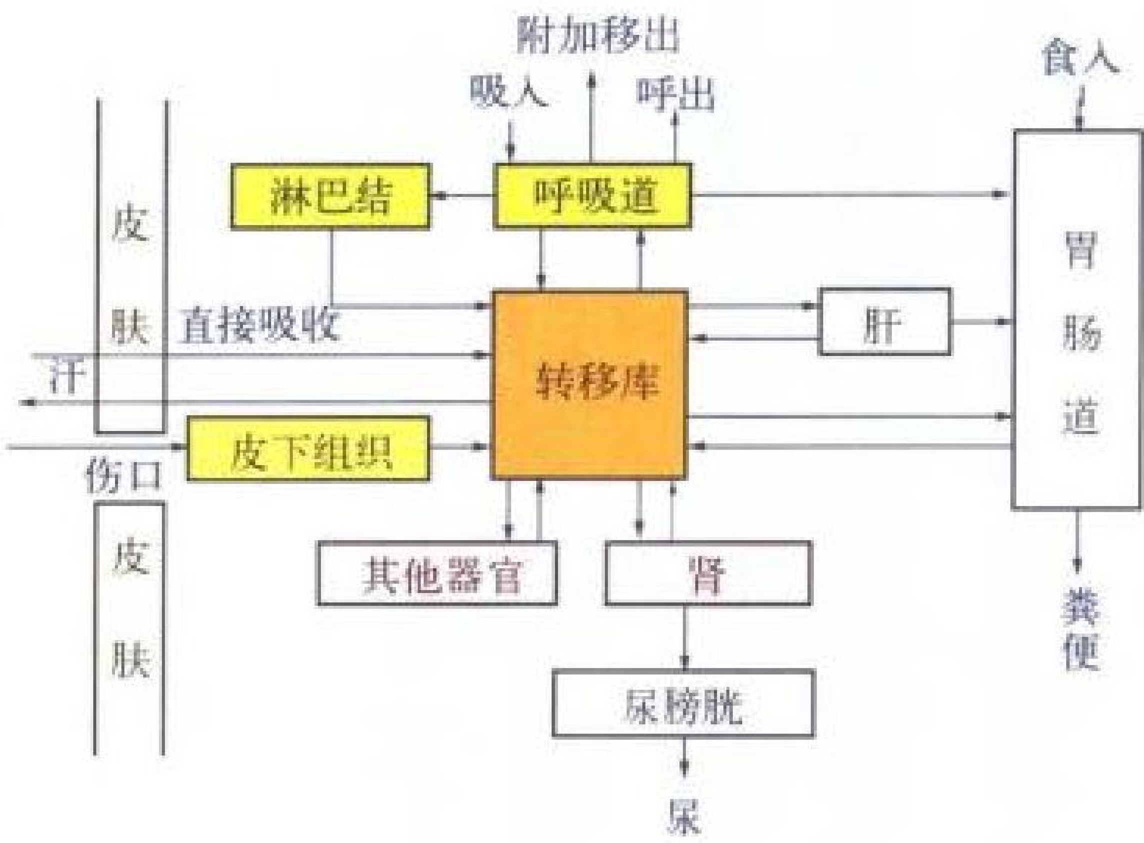
（撰写：陈祖伊 审订：赵凤民）

neixifu

内吸附 internal adsorption 溶液中微量组分不断地吸附在正在生长的晶体表面上，或者吸附于晶体内部的裂缝和毛细管中。例如许多一价阳离子盐的完美晶体沉淀：硫酸钠、硫酸钾、硫酸铷及硫酸铵等能够俘获 ^{212}Pb、^{224}Ra 及钍等离子就是内吸附造成的。（撰写：罗文宗 审订：崔安智）

neizhaoshe

内照射 internal exposure 进入体内的放射性核素作为辐射源对人体的照射。放射性核素可以经由吸入、食入、皮肤或伤口进入人体。进入人体的放射性核素在体内转移，并不断地因排出体外和放射性衰变而减少（见图）。内照射的危害与摄入放射性核素的途径、种类、理化形态、摄入量以及该种元素在体内的代谢规律等因素有关。要特别注意防护那些半衰期长，排出体外的速率慢和毒性大的核素。与外照射不同的是，对内照射，那些弱贯穿辐射的能量可全部沉积在体内。内照射在时间上是持续性的，为此量度内照射剂量采用待积吸收剂量、待积当量剂量和待积有效剂量。体内引入放射性核素的核医学诊断、摄入天然放射性核素或人类活动产生的放射性核素，以及职业性工作都会引致内照射。内照射防护的基本原则是防止或减少放射性物质进入体内，对于放射性核素可能进入人体内的途径都要予以防范。

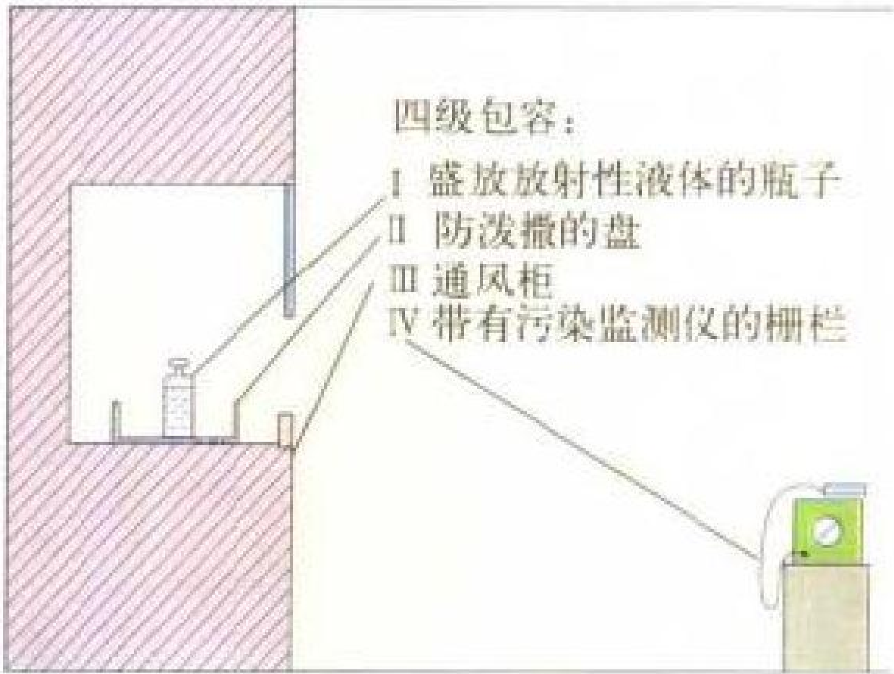


放射性核素摄入、转移和排出的途径

（撰写：马如维 审订：金月如）

neizhaoshe fanghu

内照射防护 protection against internal exposure 防止放射性核素进入人体内引起内照射所采取的手段和措施。主要有两种办法：(1) 包容（见图）；(2) 稀释。包容就是将放射性物质密闭在容器或通风柜、手套箱、工作箱和热室等设备内，操作时不使放射性物质逸散到工作场所的空气中引起工作人员体内照射。工作人员在操作非密封的放射性物质时，穿戴防护衣具如气衣、头盔、面具或呼吸器等使人体或人体有关部位与放射性物质相隔离，防止放射性物质对体表污染或进入人体内而受到内照射，这也是包容的另一种方式。为了防止放射性物质污染工作场所中的空气，工作场所内需要保持良好的通风，应设置通风系统。一旦发生放射性物质污染空气，可用大量新鲜空气对污染空气进行稀释，并由排风口迅速排出，以便尽量降低空气的污染水平或排除放射性污染的空气，达到内照射防护的目的，这就是稀释。



四级包容简图

（撰写：董柳灿 审订：潘自强）

nengdong bujian

能动部件 active components 依靠触发、机械运动或动力源等外部输入来执行功能的部件。能动部件的故障称能动故障。能动部件的例子有泵、风机、继电器和晶体管等。某些部件，如爆破膜、逆止阀、安全阀、喷射器和某些固态电子器件等，需在对其特性进行专门研究后才能确定它属于能动部件还是非能动部件（参见**非能动部件**）。能动部件与非能动部件本质上依据其可靠性来划分，从而可以作出不同的单一故障假设（参见**单一故障准则**）。

（撰写：俞尔俊 审订：陈叔平）

nengji jianju

能级间距 energy level spacing 反映原子核能级分布特征的物理量，为两个相邻能级间的能量差值，常用 D 表示。由

于原子核能级服从统计分布，更常用的是平均能级间距，即一定能量范围内能级间距的平均值。能级间距随激发能的增高和核质量数 A 的增大很快下降。当能级间距大于其总宽度 Γ，即 $D \gg \Gamma$ 时，核反应截面显现出一系列共振峰，当 $D \ll \Gamma$ 时，则截面显现为平滑曲线。

（撰写：赵文荣　审订：丁大钊）

nengji kuandu

能级宽度　energy level width　描述原子核激发态稳定性的一个物理量。能级越宽，激发态越不稳定，按照测不准关系，能级宽度 (Γ) 与能级寿命 (τ) 的近似关系为 $\Gamma\tau \approx \hbar$。在原子核的巨单极共振中，可以通过测量激发能和共振能级宽度来确定核物质的压缩模数。在原子核多步复合核反应过程中，散射矩阵也可以用能级宽度来表示，并与粒子发射的概率相联系。在能级宽度远大于能级之间的间距时，能态可视为连续分布。

（撰写：郭　华　审订：叶沿林）

nengji midu

能级密度　energy level density　单位能量区间的核能态数目，用于描述核能级分布的疏密程度。随着原子核激发能量的增加，被激发的核子数目也在增加，使得原子核单位能量间隔的状态数目急剧增加，因此可以使用统计力学的方法来描述原子核的状态。费密气体模型给出原子核能级密度公式为

$$\rho(U, A) = \frac{1}{\sqrt{48U}} \exp\left(\pi\sqrt{\frac{2U}{3\delta}}\right)$$

式中 U 为原子核的激发能，A 为质量数，δ 为能级密度参量。有时还需要考虑原子核的奇偶性、集体运动及核温度对能级密度公式的影响。

（撰写：郭　华　审订：叶沿林）

nengji shouming

能级寿命　energy level life　见能级宽度。

nengliang fushedu

能量辐射度　energy radiance ($\dot{\Psi}_{\Omega}$)　$\mathrm{d}\dot{\Psi}$ 除以 $\mathrm{d}\Omega$ 而得的商，即

$$\dot{\Psi}_{\Omega} = \mathrm{d}\dot{\Psi} / \mathrm{d}\Omega$$

式中 $\mathrm{d}\dot{\Psi}$ 为在围绕某一特定方向上的 $\mathrm{d}\Omega$ 立体角内传播的粒子能量注量率。能量辐射度的单位为瓦特每平方米球面度 ($\mathrm{W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}}$)。

（撰写：董柳灿　审订：陈竹舟）

nengsan

能散　energy spread　描述束团中粒子能量分散情况的物理量，用其相对值表示，记作 $\Delta E/E$。粒子在束团中的能量分布通常不是均匀的，有时用包含某一百分比（如90%）的粒子的最大能量分散表示能散度的大小。在电子储存环中由于同步辐射阻尼和量子涨落的共同作用，粒子能量为高斯分布，因此用能量分散的标准偏差 σ_E 来表征能散度。由于加速器中存在色散（能量不同的粒子沿不同轨道运动）、色差（能量不同的粒子的聚焦参量不同）和色品（能量不同的粒子横向振荡频率不同），束流的能散会引起粒子运动轨道的分散、聚焦参量的分散和横向振荡的频散，进而引起束流包络的增大和非线性共振等效应。能散是粒子加速器的重要指标，直接影响物理实验的分辨率。对于某些实验，例如在 J/ψ 能量下正负电子对撞实验中，J/ψ 共振峰的宽度仅为 70 keV，远小于束流的能量分散，因此提出了单色对撞的概念，即在设计中取对撞点处正负电子的色散函数值的大小相同、符号相反，让能量偏高的电子与能量偏低的正电子对撞，从而使有效能散度大大下降。减小束流能散度的方法，对于质子和重离子加速器，有改善其注入器的性能、克服束流不稳定性和采用束流冷却（电子冷却、随机冷却和电离冷却等）技术等。电子储存环的能散度与注入器无关，需要克服束流不稳定性以避免能散度的增大。

（撰写：张　闯　审订：方守贤）

neng zhuliang

能注量　energy fluence (Ψ)　$\mathrm{d}E_R$ 除以 $\mathrm{d}a$ 而得的商，即

$$\Psi = \mathrm{d}E_R / \mathrm{d}a \tag{1}$$

式中 $\mathrm{d}E_R$ 为射入截面积为 $\mathrm{d}a$ 的球体中的辐射能量。能注量的单位为焦耳每平方米 ($\mathrm{J \cdot m^{-2}}$)。能注量随能量分布 Ψ_E 由下式给出

$$\Psi_E = \mathrm{d}\Psi / \mathrm{d}E \tag{2}$$

式中 $\mathrm{d}\Psi$ 为能量在 E 和 $E+\mathrm{d}E$ 之间的能量注量。能量注量随能量分布 Ψ_E 与粒子注量随能量分布 Φ_E 之间的关系由下式给出

$$\Psi_E = E\Phi_E \tag{3}$$

（撰写：董柳灿　审订：陈竹舟）

neng zhulianglü

能注量率　energy fluence rate ($\dot{\psi}$)　又称能通量密度。$\mathrm{d}\Psi$ 除以 $\mathrm{d}t$ 而得的商，即

$$\dot{\Psi} = \mathrm{d}\Psi / \mathrm{d}t$$

式中 $\mathrm{d}\Psi$ 为时间间隔 $\mathrm{d}t$ 内能量注量的增量。能注量率的单位为瓦特每平方米 ($\mathrm{W \cdot m^{-2}}$)。

（撰写：董柳灿　审订：陈竹舟）

nijiangfeiwu

泥浆[废]物　slurry waste　用絮凝沉淀法处理放射性废液过程中产生的浆状废弃物。从广义上说，泥浆物包括：(1) 淤渣，自然沉降或固—液分离时从废液中分离出的悬浮颗粒物；(2) 絮凝沉淀物，用絮凝沉淀法处理低放废液时产生的浆状浓缩物；(3) 蒸残液，用蒸发法处理放射性废液时产生的浓缩液；(4) 助滤剂，为了改善过滤效率采用预涂层过滤器所产生的废助滤材料，如粉末树脂或硅藻土等形成的泥浆物；(5) 废离子交换树脂，用离子交换法进行净化或分离时所产生的废离子交换剂，用水力输送得到的浆状废弃物。泥浆物浓集了原废液中的大部分放射性核素，并含有较多水分。核燃料循环设施废液处理所产生的各种泥浆物，数量和比活度差别很大。处理泥浆物时一般先用澄清、倾析或冻融等方法进行脱水处理，然后进行水泥固化、沥青固化或聚合物固化等。

（撰写：骆大星　审订：孙明生）

nijianshe xiezhenqiang

铌溅射谐振腔　sputtering niobium cavity　用溅射方法制备的薄膜型铌超导谐振腔，用在超导加速器中。由于低温下纯铌的热导很差，使腔体局部温度过高，超过临界温度，产生热失超。为解决此问题，发展了镀膜型谐振腔，在具有高热导的基底（无氧铜，OFHC）上镀上一层几微米厚的超导薄膜（铌，Nb），使得产生的热量很快被无氧铜导出去，从而避免了失超。此外，铌溅射谐振腔还能节省造价和运行费用。铜的热导率在 300～2000 W/(m · K) 之间，而 RRR = 300 的铌材在 4.2 K 时，其热导率仅为 75 W/(m · K)。溅射铌膜厚度

一般是微波场穿透深度λ的10倍，大约是0.5~2 μm的范围。铌溅射谐振腔的另一优点是可以不用地磁屏蔽。与铌相比较，铜基上的铌膜的残余电阻值对直流磁场不敏感，铌/铜的上临界磁场在4.2 K时是2.5~3.5 T。铌溅射谐振腔的制备方法可以采用直流偏压溅射或直流磁控溅射。溅射技术是成熟的，但是，铜腔的前处理和溅射铌腔的后处理难度较大。

（撰写：赵 夔 审订：王传英）

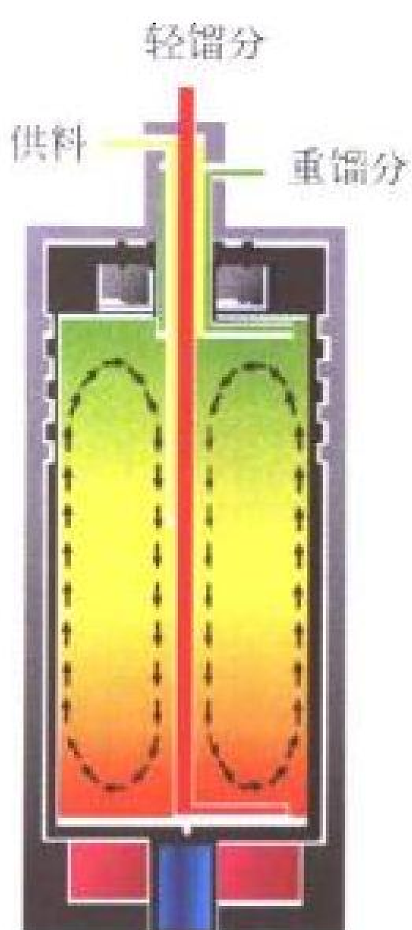
nidongtaixue

逆动态学 inverse kinetics 确定何种反应性变化$\rho(t)$能导致所需的反应堆功率变化$\rho(t)$的方法。它与反应堆动态学中预测由堆内反应性变化引起中子注量率的时间变化这一过程正好相反。在实践中，利用逆动态方法可以测得反应堆在变化过程中的瞬时反应性$\rho(t)$，这样能够及时发现意外添加的反应性，以便迅速采取措施，保证反应堆安全运行。

（撰写：薛小刚 审订：史永谦 许汉铭）

niliu lixinji

逆流离心机 countercurrent gas centrifuge 轴向存在逆向环流的离心机。由于离心机中径向分离系数一般较小，用逆向环流可以使分离在轴向得到倍增效应，有时可以增加几倍、十几倍甚至更高。历史上曾出现过各种类型的离心机，如蒸发离心机、同流离心机等。但现代为分离同位素所用的离心机都是逆流离心机。Zippe型的逆流离心机如图所示。离心机转子在真空套筒中由电机带动而高速旋转。转子的下部有轴承，上部有磁轴承。逆向环流为贴近侧壁处向上，离心机中心区向下。图中分别用黄色、红色和绿色表示离心机的供、精和贫料。最终由离心机底部取出轻馏分，从顶部取出重馏分。



Zippe型逆流离心机

（撰写：应纯同 审订：刘广钧）

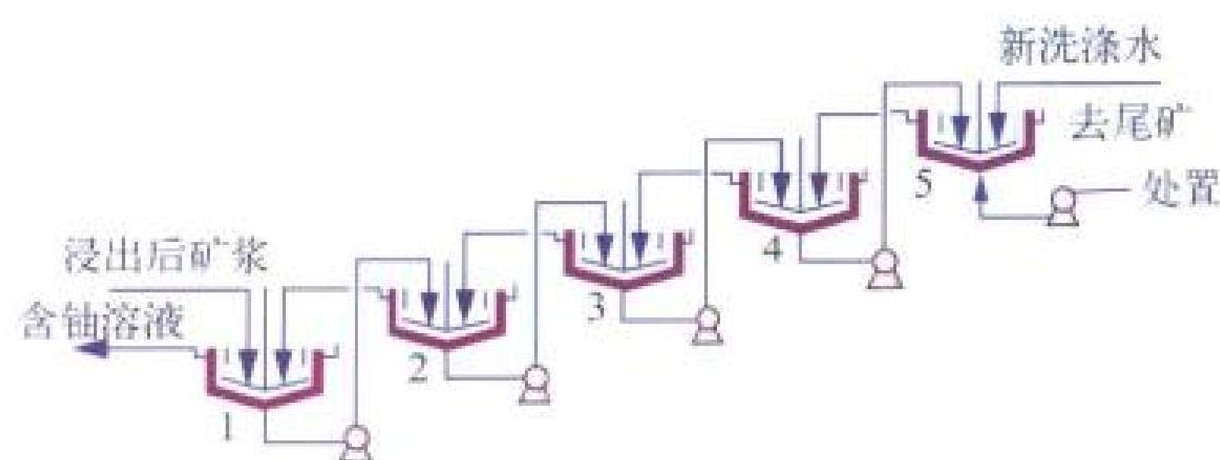
niliu lixinji de fenli xiaolü

逆流离心机的分离效率 separation efficiency of a countercurrent gas centrifuge 单台逆流离心机的实际分离功率与离心机最大理论分离功率之比值。此比值以E表示，在利用径向平均法解丰度方程时，$E=E_cE_iE_fE_e$。其中E_c是环流量效率，E_i是非理想效率，E_f是流型效率，E_e是实验效率。E_c是反映环流量大小的效率因子，环流量愈大此效率愈高，只要环流量比较大，E_c一般大于90%。E_i反映环流量沿轴向的分布与理想分布的差异，如果环流量沿轴向不变，E_i最高能到0.81，若环流量沿轴向的分布达到理想分布情况，E_i=100%。E_f取决于离心机中的流型，即离心机中轴向环流速度在径向的分布情况。

（撰写：应纯同 审订：刘广钧）

niliu qingxi

逆流倾析 countercurrent decantation 简称CCD法。一种利用矿浆固体颗粒的沉降作用，在多级浓密机中进行连续逆流分离和洗涤的化工过程。洗涤水的流动方向与底流的流动方向相反（见图）。前一段的底流利用后一段的溢流进行洗涤，只在最后一段加入新的洗涤水。第一段洗涤的溢流即是所要回收的含铀溶液，最后一段的底流即是尾矿浆，其中溶液的铀浓度应低于允许标准。为提高矿浆固液分离效果，



典型的逆流倾析洗涤流程图

常加入有机高分子絮凝剂。逆流倾析法的主要优点是操作费用低，生产稳定。它的缺点是洗水用量多，占地面积大。

（撰写：关自斌 审订：王志章）

niwen

逆温 temperature inversion 大气温度的一种垂直分布状态，即温度随着高度增加而增高的现象；呈逆温的气层称逆温层。逆温可以出现在大气边界层、自由大气乃至更高的高层大气。根据形成机制的不同，逆温可以分为几种主要类型：贴近地面的空气与辐射冷却的地面接触降温形成的辐射逆温；温暖空气流向冷地表而形成的平流逆温；上层空气下沉运动形成的下沉逆温等。冷暖气团交汇地带、冷空气在下暖空气在上的锋面逆温，混合层内热湍流涡旋上冲和上部空气向下掺混形成的混合层顶逆温也是常见的两种类型。污染气象学又常将低层大气中逆温层自地面向上延伸和出现在一定高度以上的两种情况区分为接地逆温和高架逆温。逆温层内上下运动的空气微团要反抗重力做功损失自身的动能，导致大气湍流和对流运动减弱，是一种不利于扩散混合的稳定大气状态。出现接地逆温层的时候风速一般较小，两者的联合作用会使大气污染较严重。高架逆温的存在使污染物向上扩散的空间受到限制，混合层顶逆温在抬升过程中截获原先在上面搬运的浓密高架排放烟羽时可发生熏烟扩散。持续长时间的静小风和逆温共同出现的天气，低矮的高架逆温和混合层顶逆温等情况都是大气扩散评价中应予重视的不利扩散条件（参见混合层、大气稳定度）。

（撰写：蔡旭晖 审订：陈家宜）

niziyoudianzi jiguang jiasuqi

逆自由电子激光加速器 inverse free-electron laser accelerator 电子束在横向周期性磁场中，与共轴通过的激光辐射波相互作用而获得能量的一种新型加速器。因为它与自由电子激光器中电子束给出能量、放大激光功率的过程正好相反，由此而得名。当一定能量的相对论电子束通过波荡器(undulator)时，在周期性磁场作用下作横向扭摆运动，当与电子束共轴通过的激光束的波长λ满足

$$\lambda=\frac{\lambda_u}{2\gamma^2}\left(1+\frac{K^2}{2}\right)$$

时，电子束的横向扭摆运动将与激光横向电场共振地交换能量，在适当的相位上，电子获得能量。上式中，λ_u为波荡器磁场周期长度，γ为电子的相对论因子，K为波荡器参数。随着电子能量的提高，波荡器的参数需作调变，以保持上式的共振条件。另外，激光束由于衍射效应，一段作用长度后光场会下降，需要再聚焦。这样，整个加速器要分为多段。这种原理可获得的加速梯度约为500 MV/m。

（撰写：傅世年 审订：张 闯）

nianjiliang

年剂量 annual dose 工作人员在1年工作期间所受的外照射有效剂量与这1年内摄入的放射性核素所产生的待积有效剂量之和，年剂量的单位为焦耳每千克（$J \cdot kg^{-1}$），专用单位名称为希沃特（Sv）。（撰写：董柳灿 审订：潘自强）

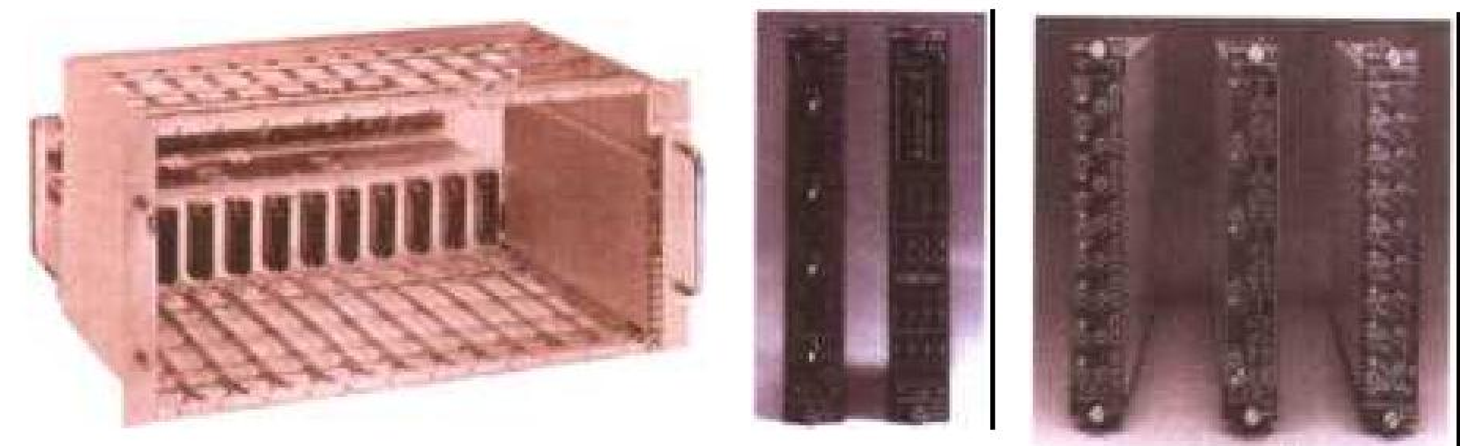
nian paifang guanli xianzhi

年排放管理限值 annual regulation limitation of release 对核设施经气、液途径向环境排放放射性物质流的年度限量，是环境管理的一项次级标准。对一个具体核设施的年排放管理限值由环境保护行政主管部门批准。年排放管理限值是核设施运行期间产生环境影响的源项参数，它产生的环境后果还与具体的环境条件有关，如气象、水文、土地利用、人口分布、公众的饮食习惯等因素。年排放管理限值的数值依据该核设施的约束剂量和具体的环境条件导出。审管部门批准的年排放管理限值是有法律约束力的数据。营运者的实际排放的放射性物质流不得超过批准的年排放量限值，按照辐射防护最优化原则，如有可能还要尽量减少向环境排放的水平。对于实际排放情况，营运者要向环境保护部门报告，并接受环境保护部门的监督和验证性监测。

（撰写：赵亚民 审订：潘自强）

NIM biaozhun

NIM标准 NIM standard (Nuclear Instrumentation Module standard) 最早的核电子仪器标准。1964年由美国原子能委员会核仪器插件标准委员会（NIM）制定。1974年，由国际电工委员会（IEC）TC—45技术委员会推荐为核电子仪器的国际标准。NIM标准包括仪器机箱、插件的基本结构、尺寸，供电电压，连接方式，信号的输入输出等项标准（见图）。1983年，在NIM标准上增添了通用仪器总线，称为NIM/GPIB标准，从而使NIM标准更为完善。



NIM机箱和插件实物图

（撰写：李玉兰 审订：席德明）

niudun lengque dinglü

牛顿冷却定律 Newton's law of cooling 描述固体表面与流经它的流体之间传热过程的规律。可表示为 $Q=\alpha F(T_w-T_f)$。式中Q为固体表面与流体之间的传热量，F为换热面积，T_w为表面温度，T_f为流体温度，而比例系数α表示固体表面与流体之间的换热强度，称为表面传热系数，或称放热系数。

（撰写：李金才 审订：马昌文）

niubaiqi he bodangqi

扭摆器和波荡器 wiggler and undulator 用于产生横向周期性磁场的装置。它使穿过它的相对论电子束作扭摆运动，从而发出电磁辐射，经过洛伦兹收缩和多普勒位移，电子辐射的电磁波波长为

$$\lambda_i = \frac{\lambda_w}{2i\gamma^2}\left[1+\frac{K^2}{2}+\gamma^2(\theta^2+\phi^2)\right]$$

式中i为谐波数；λ_w为扭摆器（或波荡器）磁场周期长度；γ为电子的相对论因子；K为无量纲扭摆器（或波荡器）参数；θ和φ分别为相对束轴在水平和垂直方向的观察角度。此处，$K=\frac{eB_0\lambda_w}{2\pi m_e c}$，其中$e$为电子电量，$m_e$为电子静止质量，$c$为真空中光速，$B_0$为扭摆器（或波荡器）峰值磁通密度。当$K\approx1$时，称该装置为波荡器；而当$K\gg1$时，称为扭摆器。波荡器的场较弱，因而电子的横向运动是非相对论的，其辐射的谐波数很少，基本上为单色。而扭摆器的磁场较强，电子横向动量开始成为相对论性的，电子的辐射包含了大量的高次谐波。

（撰写：傅世年 审订：张闯）

nongye duice

农业对策 agricultural countermeasure 长期防护行动之一，系指为减少生产、销售或消费的食物和农林产品的污染而采取的措施。农业对策包括：关闭温室的通风系统以防止放射性烟羽的污染；将动物转移到有贮存饲料的地方或者家畜在屠宰前用无污染饲料喂养几个星期；利用无污染的替代水源进行农作物的浇灌；在受污染的土地上种植不同的农作物。对农用土地，可以采用移走上层土地、犁地、可耕地的开垦和重新培植牧场等措施减少放射性核素从土壤转移到农作物中。在极端的情况下，可能要考虑完全改变农业土地的应用或从农业应用中排除被污染的地区。

（撰写：施仲齐 审订：陈竹舟）

nongji yinzi fangfa

浓集因子方法 concentration factor approach (CFA) 预计放射性核素从载带介质（空气或水）进入环境后，经由生态或生物体系（如陆地生态体系或水生生态体系）等暴露途径最终进入人体器官或组织中、对公众所致剂量采用的一种数学方法。该方法假定排放率与环境中放射性物质的平衡浓度之间存在一定的关系，与时间无关。它是用一组相连的隔室来模拟放射性核素由载带介质向人体器官或组织转移达到稳态平衡的过程。每一隔室表示这一过程中的一个环节，并且都和一个平衡浓度值联系起来；由相邻隔室中的平衡浓度值之比定义相应的浓集因子，由此得出平均剂量浓集因子的方法。它通常适用于涉及慢性排放的情况；对较长时间（例如1年）内的不均匀连续排放，可以用该时间段内的平均排放率预估该时间段的平均剂量。由于不考虑所有因素对时间的依赖关系，因而可以用较简单的代数方程来描述。它是更一般的系统分析方法（SAA）的一种简化和特例（参见*系统分析方法*）。

（撰写：张永兴 审订：胡逢全）

nongsuan shuhua jinchu

浓酸熟化浸出 acid curing of high solids 一种适宜于浸出某些要求剩余酸度较高的难处理类型铀矿石的方法。用浓硫酸与磨至一定粒度的干矿均匀混合造粒，然后熟化一定时间，完成化学反应过程。熟化后加水搅拌制浆或在带式、盘式过滤机的薄矿石层上喷淋酸化水，洗出已溶解的铀，完成浸出过程。该法具有以下特点：（1）采用浓酸，可保持较高的浸出酸度，有利于矿物的分解，且比搅拌浸出用酸、用水少；（2）浓酸具有一定氧化性，可不加或少加氧化剂；（3）过程的稀释热和反应热有助于铀的浸出；（4）处理含粘土较多的矿石可

改善固液分离和减少硅的溶解。该法的最大缺点是要求浸出矿石几乎完全干燥，这只能采用干磨或湿磨后干燥才能实现。

（撰写：夏润身　审订：赵锡熊）

nongsuo chang

浓缩厂　enrichment plant　通过同位素分离方法提高 ^{235}U 或 ^{239}Pu 同位素丰度的任何分离设施。

（撰写：金惠民　审订：严叔衡）

nongsuo yinzi

浓缩因子　enrichment factor　见富集因子。

nongsuo you

浓缩铀　enrichment uranium　见富集铀。

nτT chengji

$n\tau T$ 乘积　$n\tau T$ product　见劳逊判据。

nü boli jiguang

钕玻璃激光　neodymium glass laser　采用钕玻璃作为激光介质的激光系统。玻璃激光器在1961年研制成功，其输出的激光波长约为1.06 μm，用非线性晶体可以把波长转换成紫外线（波长351 nm）激光。钕玻璃的基质是光学玻璃。激活离子是稀土金属钕离子（Nd^{3+}）。早期使用的是硅酸盐钕玻璃，后来发现磷酸盐钕玻璃有比较低的非线性折射率系数，20世纪70年代后期，钕玻璃激光驱动器便采用磷酸盐钕玻璃激光系统。钕玻璃激光系统容易扩大口径和规模，获得很高功率输出，它是迄今为止输出功率水平最高者。美国劳伦斯·利弗莫尔国家实验室的“诺瓦”装置，美国罗切斯特大学的“欧米伽”装置，美国正在建造的“国家点火装置”，日本大坂大学激光工程研究所的“激光”－Ⅻ装置，中国的“神光”－Ⅱ装置等都是采用钕玻璃激光系统。钕玻璃激光系统的主要缺点是：玻璃本身的热导率低，使用闪光灯抽运所产生的大量废热不能及时排除，限定了激光系统只能低重复率工作。高功率系统的脉冲重复率大约是几小时发射一次激光。可望采用激光二极管抽运提高抽运效率并改善脉冲重复率低的状况。

（撰写：王世绩　审订：雷仕湛）

nuo

锘　nobelium　一种人工放射性元素，化学符号No，原子序数102，属锕系元素。半衰期最长的同位素是 ^{259}No（58 min）。因纪念著名的瑞典科学家A.B.诺贝尔而命名。1958年美国科学家用加速的碳离子轰击锔靶，得到了半衰期为3 s的α放射性核素。由于半衰期短，他们测量其子体镄而判定母体为 ^{252}No。半衰期最长的同位素 ^{259}No 是通过下述核反应合成的：$^{248}Cm(^{18}O, \alpha 3n)^{259}No$。锘原子的电子构型可能为(Rn) $5f^{14}6d^{0}7s^{2}$，由于 $5f^{14}$ 结构的特殊稳定性，在水溶液中锘最稳定的氧化态是 +2。

（撰写：徐鸿桂　修订：罗文宗　审订：崔安智）



oumijia jiguang zhuangzhi

欧米伽激光装置 Omega laser facility 美国罗切斯特大学研制的高能量三倍频钕玻璃激光系统（波长 351 nm）。该装置是在原 24 束欧米伽激光装置基础上升级而成。升级后的装置输出 60 束激光，到达靶面激光能量达 40～45 kJ，子束间能量平衡小于 ± 8%，激光峰值功率为 40 TW。激光脉冲宽度最小可达 500 ps。脉冲形状灵活可变，激光指向稳定性小于 15 μm。靶上辐照均匀性是 ± 1%。装置具有完成高性能直接驱动核聚变实验的能力。其建造目的是研究直接驱动方式是否可以作为高能量增益的激光聚变方式，并为国家点火装置实现点火提供参考数据。该装置于 1995 年建成，装置的打靶实验记录到的中子产额达 10^{14} 个。

（撰写：雷仕湛　审订：王世绩）

ou ji he

偶—奇核 even–odd nucleus 见核的奇偶差。

ou ou he

偶—偶核 even–even nucleus 见核的奇偶差。

ouheqi

耦合器 coupler 能从射频传输系统分出一部分信号的器件，有同轴型和波导型两种。耦合量从负几分贝到负几十分贝。耦合器的构造是在传输系统的壁上开孔或槽，让一部分射频功率从该处辐射出来，构成分支。耦合器通常用于功率分配和信号提取。定向耦合器则用来探测正向波或反向波的信号。

（撰写：罗应雄　审订：王传英）

ouheqiang piaoyiguan jiegou

耦合腔漂移管结构 coupled cavity drift tube linac (CCDTL) 一种近年来发展的新型质子中能加速结构。实际上它是漂移管结构 DTL 和边耦合腔结构 SCCL 的结合，把边耦合腔结构的加速单元腔拉长后加入一个或更多的漂移管，并将聚焦磁铁移到加速腔外，因而兼有上述两种结构的特点，适用于加速中能质子。与 DTL 结构相比，CCDTL 有以下优点：(1) 可在较高频率 (700 MHz 左右) 工作，腔体横向尺寸比 DTL 结构显著减小；(2) 聚焦磁铁放在漂移管外，可以使腔体更优化，得到比 DTL 结构更高的有效分路阻抗；(3) 工作在 $\pi/2$ 模式，工作点上群速大，模式间隔大，有利于克服束流负载效应，稳定性好；(4) 各个加速腔相对独立，可以实现模块化设计，高频调试和加速腔加工维修较为方便。但是 CCDTL 结构的加工制造相当困难，尤其在低能端，其腔体及漂移管发热冷却问题尚未解决，目前仍处在研制阶段，仍未在实际加速器上应用。

（撰写：罗紫华　审订：王传英）



paichu

排除 exclusion 将那些本质上不能通过实施辐射防护和辐射源安全标准及规章的要求控制其照射的天然辐射源照射情况，排除在辐射防护和辐射源安全标准及规章的适用范围之外，以及排除在辐射防护和辐射源安全审管范围之外。对天然辐射引起的照射，有些是可以且必须予以控制的。例如：在开发地下矿物时，矿工因吸入天然氡和钍及其子体等放射性核素所受内照射，可以采取通排风、限制井下作业时间和个人防护衣具等措施予以控制；民用航空机组人员所受宇宙射线照射，可以通过限制每年的高空累积飞行时间进行控制。但有些天然辐射照射情况，例如人体内天然^{40}K放射性核素引起的内照射和地表宇宙射线引起的外照射，是无法且无必要进行控制的。对它们，理所当然地被排除在辐射防护和辐射源安全审管范围之外。

（撰写：吴德强　审订：华　旦）

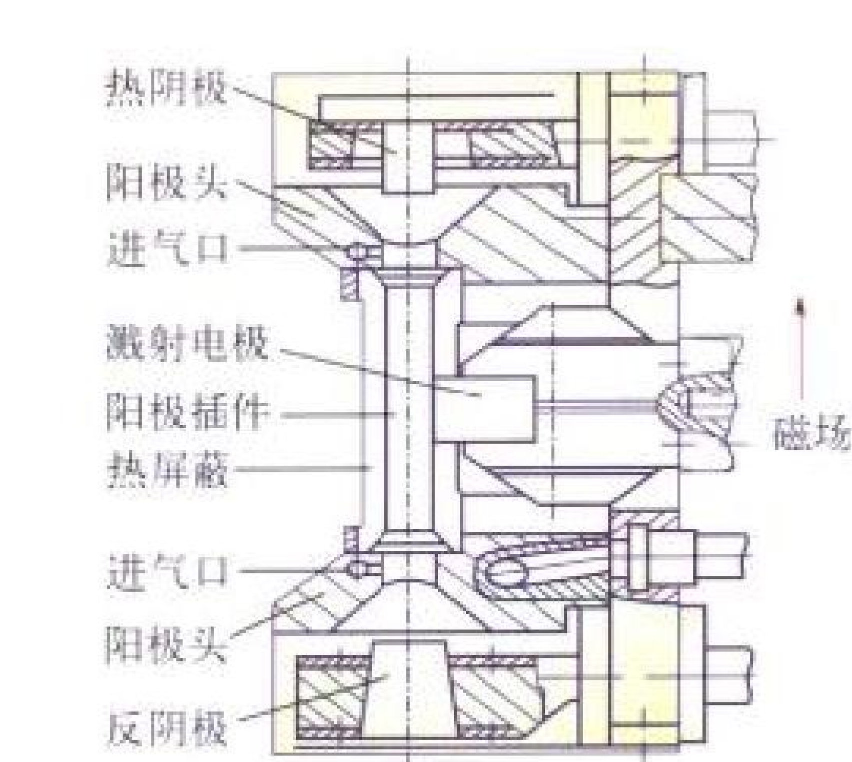
paifangkou wensheng

排放口温升 temperature rise at release point 核电厂等核动力厂冷却水排放口因热污染引起的温度上升。排放口附近受纳水体温度的升高现象是环境管理关心的重要问题。排放口温升数值及排放口附近温度升高的范围是评价热污染程度的主要指标。为防止热污染引起严重生态后果，对排放口温升以及热污染范围要加以限制。限制的原则为局部温升不能达到当地主要水生生物种群的伤害温度，温升范围不至于使当地重要水生生物种群的繁衍受到影响。并要使排放口附近不会游动的生物个体的伤害数量尽量的少。如果达不到上述要求的，从生态保护的角度，要求设施改变排放方案，绝不能以牺牲环境为代价。必要时需降功率运行。排放口温升是核环境审评的内容，也是对运行核电厂实行日常监督的内容。

（撰写：赵亚民　审订：潘自强）

panning liziyuan

潘宁离子源 Penning ion source 又称PIG离子源。它的基本组成是处在轴向磁场中的一个管形空心阳极及一对阴极。两阴极同轴放置在阳极两端，其中一个为主要电子源称为阴极，另一个与它构成轴向静电电子阱称为反阴极。阴极发射的电子受磁场约束并在静电阱中振荡，发生碰撞电离形成高密度等离子体。它可以从阳极侧边开孔或反阴极中心开孔在吸极电压作用下引出离子，分别称为径向或轴向引出离子源。阴极引出的离子密度高，阳极引出的高电荷态离子比例高。根据阴极结构可分为冷阴极和热阴极PIG源。前者结构简单，但是弧压高影响寿命，需冷却阴极或限制平均弧功率。冷阴极材料以Ti，Ta为好。热阴极有3类：热灯丝、间接加热块状阴极（Ta，W）及等离子体自热阴极（Ta，LaB_6等）。热阴极工作允许低弧压大弧流，有利于产生高电荷态离子。



热阴极潘宁离子源（径向引出）剖面图

（撰写：赵渭江　审订：关遐令）

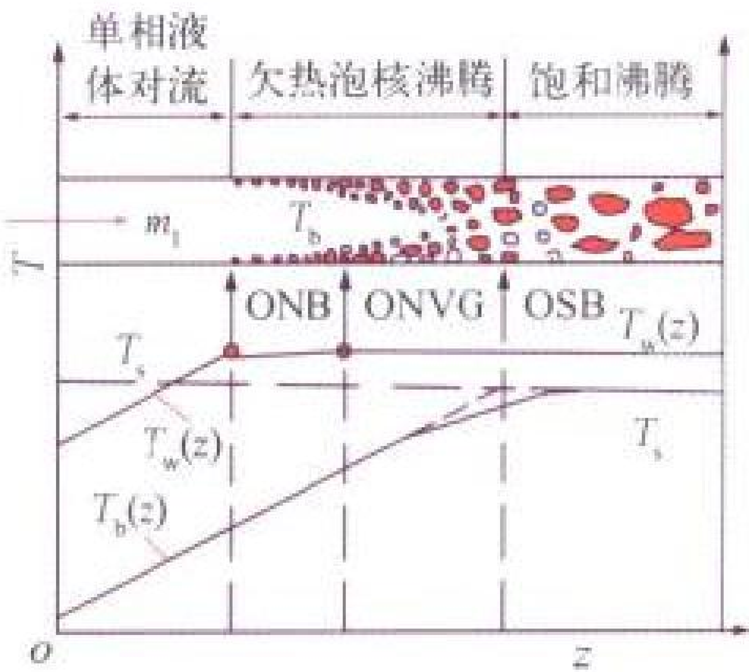
pangzhou guangxue

旁轴光学 paraxial optics 在旁轴近似的前提条件下，用几何光学的方法研究束流粒子的运动轨迹及束流传输特性的科学。旁轴光学是束流光学的一个分支。在旁轴近似的条件下，粒子实际经历的场可以用束轴上场的一级近似展开式来表示，粒子所受到的外场力为常数，或者外场力正比于粒子的偏轴距离，决定束流粒子轨迹的旁轴方程为线性的二阶微分方程。当束流粒子的能量相同时，垂直于束轴的一个平面上的物能够完善地在另一个平面上成像。在这里，物上点与像上的点一一对应，因此像在几何上相似于物，只是像的大小、方位有可能不同于物。在旁轴近似下，不会产生任何几何相差。不过，能散仍会引起色散像差。同时，粒子的空间电荷效应对成像也有影响，这是束流与光线所不同的地方。

（撰写：欧阳华甫　审订：王传英）

paohe feiteng qishidian

泡核沸腾起始点 onset of nucleate boiling (ONB) 加热管壁面过热度 $\Delta T_W = T_W - T_S$ 增大到泡化所必需的过热度 $\Delta T_{W,ONB}$ 时开始生成汽泡的位置。泡化所必需的过热度 $\Delta T_{W,ONB}$ 除了与热流密度、饱和温度和液体物性有关外，还往往受加热表面的性质和清洁度、液体中溶解气体的情况等影响。



均匀加热管内流动泡核沸腾工况

T_b —主流液体温度；

T_w —固体表面温度；

T_s —液体饱和温度

（撰写：郝老迷　审订：陈玉宙）

PCI pohuai gonglü yuzhi

PCI破坏[功率]阈值 threshold of PCI failure 燃料元件线功率从一定基准水平迅速提高到某一最大数值而无PCI /SCC破坏的危险，则此功率值即称为“PCI破坏［功率］阈值”。不同的燃料元件，不同的芯块和包壳的材料，不同的加工工艺，不同的芯块几何形状，不同的运行历史，PCI/SCC导致包壳破损的功率阈值也有所不同。但是，基本趋势大体类似，类似的燃料元件若功率历史相同，阈值相差不大。曾经有人尝试根据堆外PCI模拟试验数据，确定PCI导致包壳破损的“应力阈值”、“强腐蚀性裂变产物含量阈值”等，但由于这一类参量的堆内外试验结果差别很大，而且在堆内极难准确测

定，所以近年来这类阈值已经较少应用（参见芯块与包壳相互作用）。

（撰写：张忠岳　审订：黄玉才）

pei

锫　berkelium　一种人工放射性元素，化学符号Bk，原子序数97，属锕系元素。半衰期最长的同位素是^{247}Bk（1380 a）。锫以发现地美国的伯克利（Berkeley）命名。1949年S.G.汤普森（Thompson）等用加速到35 MeV的α粒子轰击^{241}Am时发现^{243}Bk。其核反应为^{241}Am (α,2n) ^{243}Bk。锫原子的电子构型为（Rn）$5f^9 6d^{10} 7s^2$。在水溶液中有＋3，＋4两种氧化态，离子形式为Bk^{3+}和Bk^{4+}。可称量的^{249}Bk是在高通量反应堆中辐照钚、镅、锔靶而制得的。

（撰写：林漳基　修订：罗文宗　审订：崔安智）

peitai he taier de fushe xiaoying

胚胎和胎儿的辐射效应　radiation effect of the embryo and fetus　胚胎和胎儿比出生后的个体对辐射更为敏感。其在母体子宫内受照可导致胚胎死亡和出生后的先天性畸形、智力迟钝以及放射性肿瘤等效应。发生辐射效应的类别取决于受照时间。胚胎早期受照易导致胚胎死亡；受孕后第3周起进入器官形成期，易导致器官的畸形；进入胎儿期（即第8周起）脑组织的发育对辐射最为敏感，此时受照会导致小头症畸形、严重智力迟钝和智商下降，并在对日本广岛和长崎原子弹爆炸受照妊娠妇女的调查中得到证实。近年来人们的工作又证实了，母体内受照的胚胎和胎儿出生后放射性肿瘤发生率增加。为保护胚胎和胎儿的安全，辐射防护标准明确限制妊娠妇女的照射：确知怀孕后的整个妊娠期下躯干受照不得超过1m Sv，放射性核素摄入量≤1/20年摄入量限值（ALI）。

（撰写：白　光　审订：孙世荃）

penzuifa

喷嘴法　separation nozzle process　待分离气体混合物经喷嘴获得加速，从而实现同位素分离的方法。早期的喷嘴是直型的，待分离气体沿直线加速，后期的喷嘴呈偏转型，其半圆弧的内壁迫使气流不断偏转，获得离心加速，重组分比轻组分更多地向内半圆弧壁的外侧迁移，从而使轻组分在半圆弧壁的中心区域得到浓缩，工艺流体是气态六氟化铀和轻气体的混合气体，它在喷嘴中膨胀加速，呈高速流动的轻气体带动了气体六氟化铀以高速流动。20世纪50年代，以贝克尔（E.W.Becker）为首在德国开展了喷嘴法的研究，之后德国和巴西合作在巴西建立了中间工厂，以论证喷嘴法分离同位素的商业应用。

（撰写：钱绍圣　审订：应纯同）

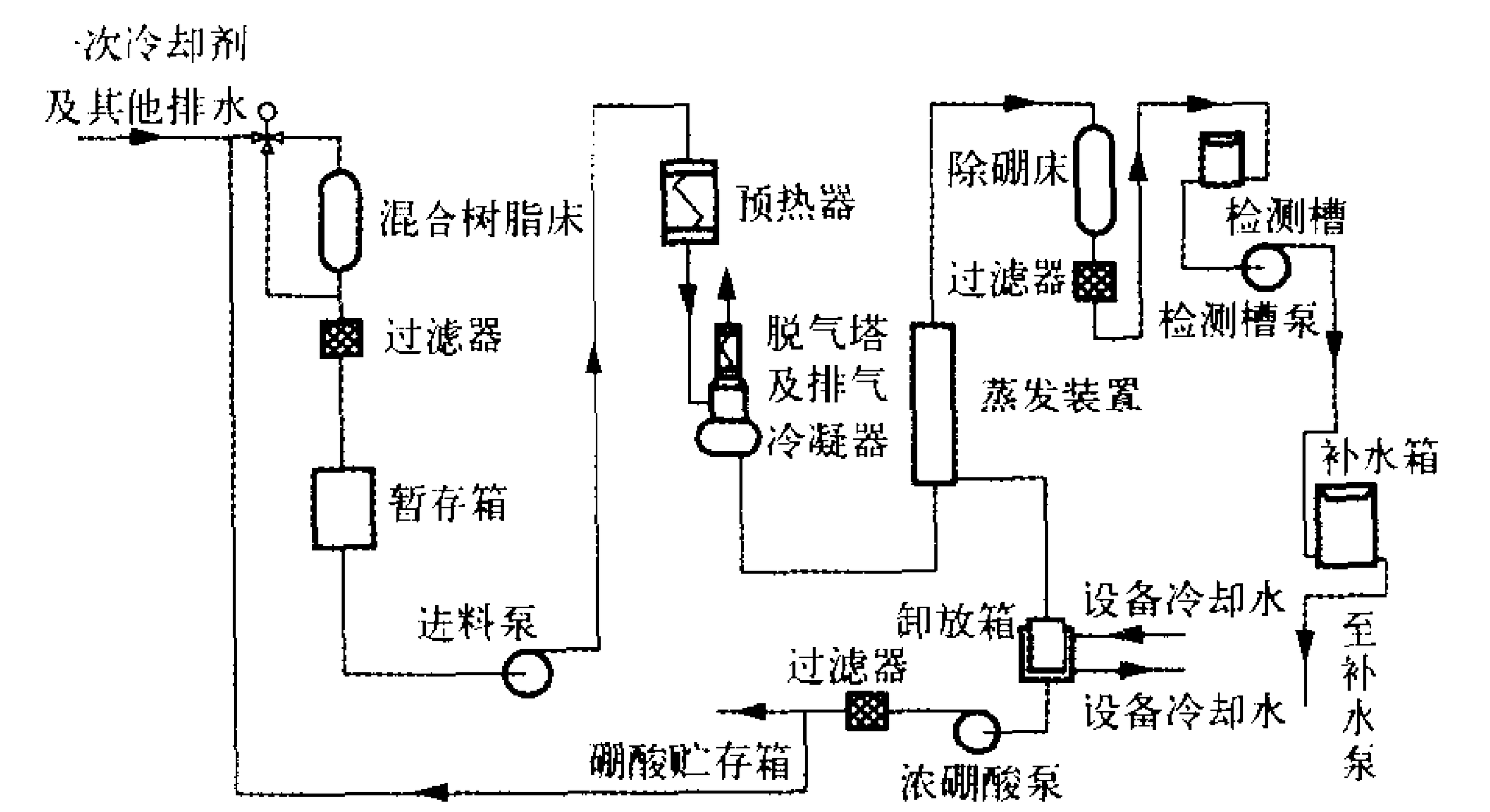
peng baofu xinkuai keran duwu bang

硼包覆芯块可燃毒物棒　burnable poison rod with boron coated pellets　西屋公司采用的一种在部分燃料棒中段UO_2芯块上涂覆厚度小于0.025 mm的ZrB_2而形成的可燃毒物棒。亦称一体化可燃毒物棒。这种可燃毒物棒，在铀燃耗大约为37000 MWd/t时，硼几乎完全烧尽，不留剩余毒性，这是它的一大优点。但硼在辐照过程中，会吸收中子而产生氦和热量，从而使留在包壳中的氦体积膨胀，并可能导致内压过高。这是一个需要注意的问题。另一个问题是这种可燃毒物棒的制造成本可能较高。

（撰写：张忠岳　审订：黄玉才）

peng huishou xitong

硼回收系统　boron recycle system　利用蒸发和离子交换的方法处理反应堆冷却剂并回收浓硼酸的系统。其主要功能为：收集和暂存反应堆冷却剂系统在正常运行和检修时所排出的反应堆冷却剂；去除反应堆冷却剂中的腐蚀产物和裂变产物，并将其处理成符合反应堆冷却剂系统运行要求的再生补充水和再生硼酸，以减少核电厂的废液排放，并保护环境。硼回收系统一般设有2～3台暂存箱。当暂存箱内积储了足够蒸发装置能批量运行的料液时，便可送脱气塔、蒸发装置及树脂床等设备进行处理（见图）。处理后合格的硼酸和净水返回复



硼回收系统流程原理图

用，不合格的可再送往暂存箱作重复处理。

（撰写：戚正文　审订：张维忠）

peng weifen jiazhi

硼微分价值　boron differential worth　堆芯冷却剂中单位硼浓度变化所引起的堆芯反应性变化。它是对硼酸溶液补偿堆芯反应性的效率的一种度量。硼微分价值可用下式表示：$\alpha_B=\Delta\rho/\Delta C_B$，式中$\Delta\rho$为堆芯反应性变化，$\Delta C_B$为堆芯硼浓度变化。硼微分价值与堆芯硼浓度、冷却剂密度等因素有关：堆芯硼浓度越高，硼微分价值（绝对值）越低；冷却剂密度越低，硼微分价值（绝对值）也越低。

（撰写：章宗耀　审订：卜永熙）

peng zhongzi fuhuo zhiliao

硼中子俘获治疗　boron neutron capture therapy (BNCT)　将无毒的硼化合物（高丰度^{10}B）引入体内并聚集在肿瘤组织中，在热中子照射下引起核反应，释放出高能反应产物，就地杀伤肿瘤细胞的治疗方法。硼化合物中^{10}B俘获中子后，由^{10}B (n, α) ^{7}Li反应（σ=3836 b）生成^{7}Li反冲原子核和α粒子。这些反应产物射程都很短，可集中破坏含硼组织中的肿瘤细胞，达到治疗目的。硼中子俘获治疗将药物的肿瘤特异性、中子的高穿透本领和核反应产物对癌细胞的强杀伤力诸优点集于一体，是肿瘤放疗研究的热点之一，目前主要用于脑神经胶质瘤和黑色素瘤的治疗。

（撰写：王荣福　审订：吕延晓）

pengzhuang

碰撞　collision　见带电粒子与物质的相互作用。

pengzhuang canshu

碰撞参数　impact parameter　两个相互碰撞的粒子在假定不发生作用时彼此达到的最小距离，通常用b表示。又称瞄

准距离，它反映碰撞的激烈程度，或发生反应的类型。例如，b 大于两个碰撞核的半径之和时，只发生库仑散射，$b=0$ 时两个重离子将发生对心碰撞，发生熔合反应。此外，入射道的轨道角动量 L 与 b 的关系为

$$L = \mu v b = (2\mu E_{cm})^{1/2} b$$

式中 $\mu=m_1m_2/(m_1+m_2)$为碰撞体系的约化质量，m_1 和 m_2 分别表示入射粒子和靶核的质量；v，E_{cm} 分别为相对运动速度和动能。（撰写：白希祥　审订：许谨诚）

pizhun

批准 authorization　审管部门以书面文件形式准许申请进行某一辐射实践活动的法人进行该活动，又称授权。批准有注册和授证两种形式。对于不同类型的实践，审管单位在批准发给各类许可证件之前要对申请者提交的有关资料进行审核。例如，对核设施来说，只有具备下列条件的方可批准发给《核设施建造许可证》和《核设施运行许可证》：(1) 所申请的项目已按照有关规定经主管部门及国家计划部门或省、自治区、直辖市人民政府的计划部门批准；(2) 所选定的厂址已经国务院或省、自治区、直辖市人民政府的环境保护部门、计划部门和国家核安全当局批准；(3) 所申请的核设施符合国家有关的法律及核安全法规的规定；(4) 申请者具有安全营运所申请的核设施的能力，并保证承担全面的安全责任。（撰写：吴德强　审订：华　旦）

pilao fenxi

疲劳分析 fatigue analysis　对反应堆结构部件在交变载荷长期作用下经受疲劳甚至断裂的过程的力学分析。根据部件断裂前所能经受的载荷（应力）循环次数的多少，通常将疲劳分为两类：(1) 高周疲劳，其特点是应力水平较低，循环次数较多（$\geqslant 10^6$ 次）；(2) 低周疲劳，其特点是应力水平接近或高于屈服极限，断裂前能经受的循环次数较少（$10^2\sim10^5$次），由于低周疲劳破坏经常伴随有不可逆应变（塑性应变）的积累，所以低周疲劳也常常被称为“应变疲劳”。在 ASME 规范体系中规定：若按完全弹性假定所得到的“虚拟”应力不大于两倍屈服极限，则仅在最初几次载荷循环中可能发生少量塑性变形，后继的循环将完全在弹性范围内进行。如果应力大于两倍屈服极限，则每一次循环都有塑性变形的积累，经过不多次载荷循环后，即可导致部件断裂。这个过程的特点是：应力计算仍然是按完全弹性假定进行的，变形是弹性加塑性的，破坏前交变载荷次数是很少的。带裂纹结构部件的疲劳断裂分析按断裂力学基本理论和方法处理，重点是分析裂纹扩展过程和评估部件剩余寿命。从结构可靠性和安全运行角度考虑，通常假定在部件上存在一个具有一定几何形状的“初始缺陷”（常设为裂纹），然后进行疲劳断裂过程分析。疲劳分析中应该考虑中子辐照所引起的材料延性降低和腐蚀引起的部件有效厚度减薄等环境对部件力学性状的影响。（撰写：黄经绍　审订：张忠岳）

P

pi cailiao

铍材料 beryllium material　铍是一种低 Z（原子序数为 4）的金属材料，密排六方体结构，性能与金属杂质的含量和致密程度密切相关。铍的物理溅射特性与石墨类似，其自溅射产额小于 1，没有化学溅射。氚能以气体扩散和离子注入方式滞留在铍中，另外氚还通过铍的核反应产生。在聚变堆中，铍主要用作面对等离子体材料（PFM）和包层的中子倍增材料。由于铍与碳材料相比吸氚率更低且没有化学溅射效应，因此，它是最好的面对等离子体材料之一。（撰写：刘　翔　审订：钱尚介）

pipei chuanshu

匹配传输 matching transport　两个束流光学系统间的束流相空间系数之间匹配转换关系，具体体现在它们的Twiss参数之间的转换关系上。在束流动力学计算中经常用到的椭圆方程，可以写成：$\gamma x^2+2\alpha xx'+\beta x'^2=\varepsilon$，其中 ε 是束流发射度，它等于椭圆的面积除以π，我们称椭圆方程的系数α, β, γ为Twiss参数或者叫 Courant-Snyder 参数。并且满足 $\beta\gamma-\alpha^2=1$。两个束流光学系统间的束流相空间系数之间匹配转换关系，具体体现在它们的 Twiss 参数之间的转换关系上。设α_0, β_0和 γ_0 为上游系统出口处的束流椭圆参数α_1,β_1和γ_0为下游系统入口处所需要的束流参数。满足这种特定关系的传输，称为匹配传输，其匹配传输矩阵在线性近似条件下为

$$M=\begin{bmatrix} \sqrt{\dfrac{\beta_1}{\beta_0}}(\cos\mu+\alpha_0\sin\mu) & \sin\mu\sqrt{\beta_0\beta_1} \\ -\dfrac{(1-\alpha_0\alpha_1)\sin\mu+(\alpha_1-\alpha_0)\cos\mu}{\sqrt{\beta_0\beta_1}} & \sqrt{\dfrac{\beta_0}{\beta_1}}(\cos\mu-\alpha_1\sin\mu) \end{bmatrix}$$

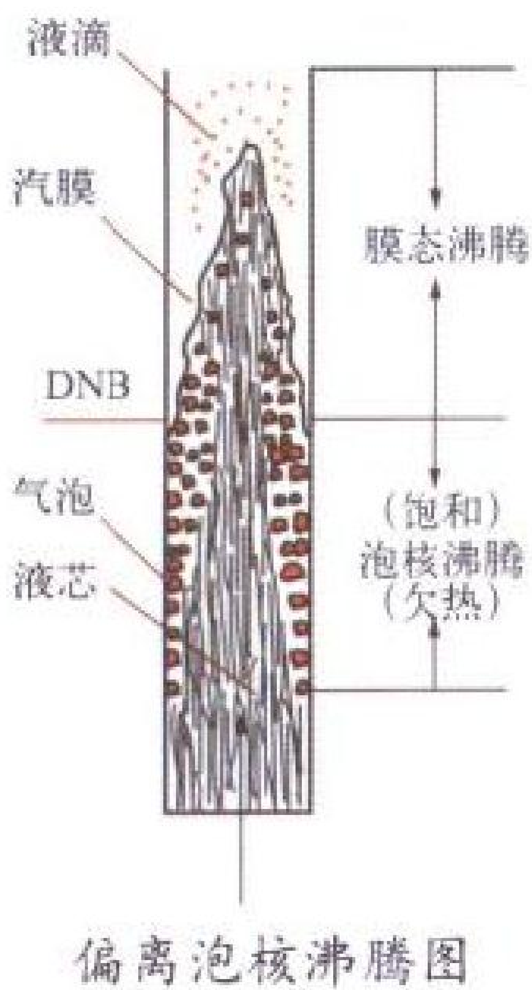
式中 μ 为匹配系统的相移。（撰写：关遐令　审订：王传英）

pipei lüboqi

匹配滤波器 matched filter　对于叠加于噪声上的信号，当滤波器的频率响应是输入信号频谱的复共轭时，获得的信噪比最佳，这样的滤波器称为匹配滤波器。最大信噪比的平方等于输入信号的能量与输入噪声的功率谱密度之比，与匹配滤波器的频率响应无关。就时域讲，匹配滤波器的冲击响应是在时间上延迟了的输入信号波形的镜像。（撰写：刘　杰　审订：席德明）

pianli paohefeiteng

偏离泡核沸腾 departure from nucleate boiling (DNB)　在加热壁面高热流密度下，在欠热或低含汽率饱和泡核沸腾工况下，气泡产生率高到在气泡脱离壁面之前就形成一层汽膜覆盖在壁面上的现象（见图）。此时由泡核沸腾工况变成膜态沸腾工况，液体不能接触壁面，传热恶化。如热流密度仍保持，则壁温会大幅度升高，甚至使壁面烧毁。影响偏离泡核沸腾热流密度的因素很多。它主要取决于水的压力、温度、质量流密度和含汽率等热工水力参数；另外，流道的结构和几何尺寸、加热元件的热流密度分布情况等也有一定影响。由于情况十分复杂，目前只能用实验方法求得针对具体情况的经验关系式来取得它的数值。



偏离泡核沸腾图

（撰写：郝老迷　审订：陈玉宙）

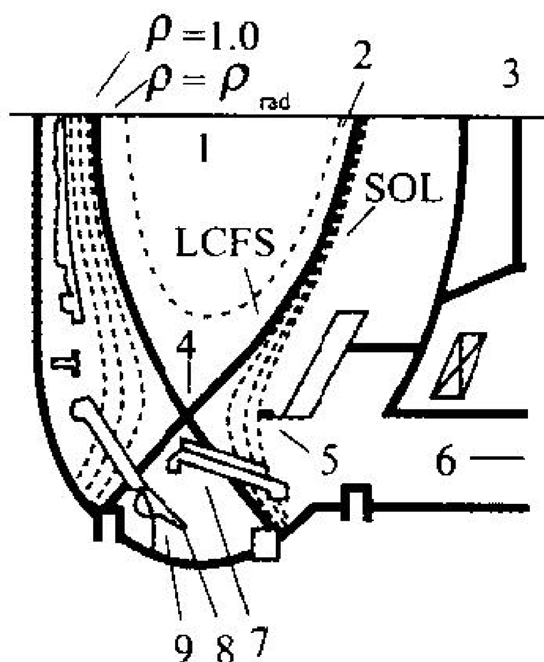
pianli paohe feiteng bi

偏离泡核沸腾比 departure from nucleate borling ratio (DNBR) 燃料元件包壳上给定点的偏离泡核沸腾热流密度与实际热流密度之比。对于水冷反应堆，发生偏离泡核沸腾往往导致燃料元件烧毁，因此常将它与烧毁比混用。DNBR 愈大，元件愈不易被烧毁，但发出的功率愈低，即安全性愈好而经济性愈差。在反应堆热工设计中，应算出堆芯内最小的即最危险的 DNBR，令它不低于某个限定值，以确保反应堆的安全。

（撰写：陈叔平　审订：连培生）

pianlüqi

偏滤器 divertor 将主等离子体磁面与刮离区等离子体磁面相分离的一种磁面位形设计，是实现聚变反应堆排热、除灰、杂质控制和降低第一壁材料腐蚀的关键部件。它由最后一个闭合通量面（LCFS）以内的主等离子体区、以外的刮离区（SOL）、X 点以下的隐蔽通量区（$\rho < 1$）、内外靶板和抽气口等几个主要部分组成（见图）。按照结构可划分为闭合偏



典型的现代托卡马克偏滤器示意图

1—芯部区；2—周边辐射区；3—中平面；4—X 点；5—缓冲板；6—抽气口；7—外靶板；8—隐蔽通量区；9—内靶板

滤器、开放偏滤器和半闭合偏滤器；按照功能可划分为抽气偏滤器、辐射偏滤器、偏压偏滤器、各态历经偏滤器和束偏滤器；按照 X 点的个数可划分为单零点偏滤器、双零点偏滤器和四零点偏滤器。

（撰写：严龙文　审订：钱尚介）

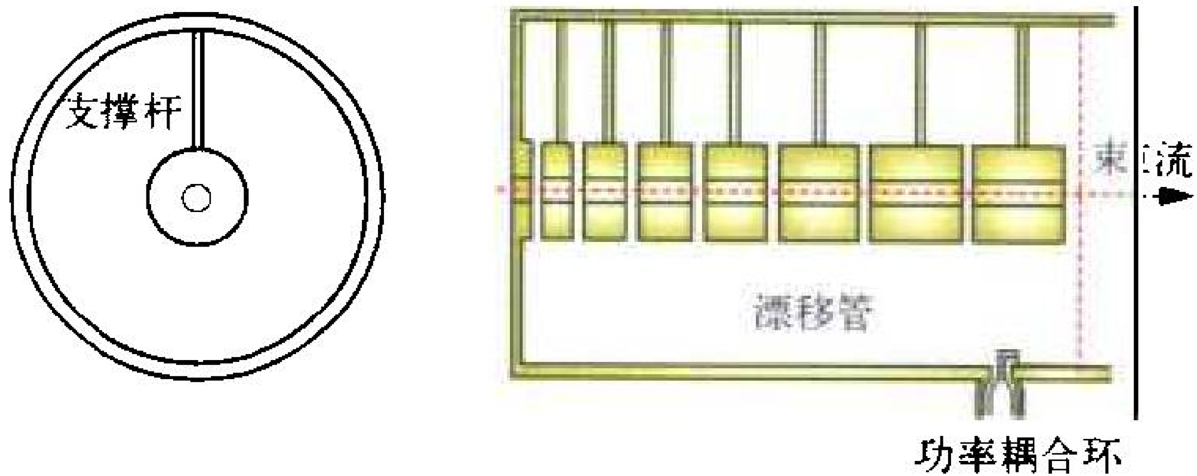
pianlüsuanli

偏铝酸锂 lithium aluminate 一种含锂陶瓷。分子式为 $LiAlO_2$。它的热导率高，抗热冲击能力强，辐照稳定性好，化学相容性好，感生放射性小，不容易吸水，尤其是氚的滞留时间长，特别适合作反应堆产氚靶件的芯体材料。靶件产氚，为提高安全性，要求 $LiAlO_2$ 辐照期间氚释放量少；同时要求 $LiAlO_2$ 陶瓷有适中的氚释放温度。偏铝酸锂有 α 相和 γ 相两种结构，α 相在 650 ℃以上转变为 γ 相，体积膨胀 30％左右。将 Li_2CO_3 与 Al_2O_3 粉末混合、焙烧，可制得单相 γ-$LiAlO_2$ 粉末。粉末经等静压—烧结或单轴压—烧结制成环状、棒状等多种形状的陶瓷芯体。偏铝酸锂陶瓷是压水堆和快堆最理想的产氚材料。

（撰写：卢浩琳　审订：韩廷德）

piaoyi guanqiang jiegou

漂移管腔结构 drift tube linac (DTL) 中能质子加速腔结构。因其在加速腔内轴线上装有一系列漂移管，故被称为漂移管型加速结构（见图）。腔内漂移管除了使高频电场更好地集中在漂移管之间的间隙，从而对粒子有更有效的加速作用外，还起到了当高频电场变化到减速相位时，粒子能躲在无电场的漂移管内漂移而不被减速的作用。为保证粒子能同步



漂移管腔示意图

加速，漂移管长度应随粒子能量增加而增加。漂移管的形状应仔细选择，表面加工要十分精细，以减少高频损耗得到较高的分路阻抗。漂移管内通常要安放四极电磁透镜或永磁透镜，对束流进行横向聚焦，确保束流不致横向丢失。它具有较高的分路阻抗和渡越时间因子，适合用于几兆电子伏至 100 MeV 质子能量段。

（撰写：罗紫华　审订：王传英）

piaoyishi

漂移室 drift chamber 基于测量电子的漂移时间来确定入射粒子辐射位置的位置灵敏探测器，工作在气体放电正比区。漂移室的结构多种多样，有由一均匀电场漂移区和一置于端部的正比计数管组成的简单结构漂移室，有类似于多丝正比室结构的多丝漂移室，还有结构牢固的阴极框架型漂移室等。在研究多丝正比室的过程中，人们就发觉其输出信号之间彼此存在时间差异，并证明这种信号之间的时间差异，是由于落在离阳极丝不同位置的初始电离电子，漂移到阳极丝附近所需时间不同造成的。于是根据此现象研制出了漂移室。漂移室比多丝正比室结构简单，定位精度高，在高能物理实验中得到迅速发展。一般情况下单个丝室（漂移室与多丝正比室又统称丝室），只能给出一维或二维坐标信息，人们总希望在一个丝室上能同时给出三维空间信息，并能给出多参数（如 dE/dx，质量，能量，动量等）信息，因此又发展了图像室、喷注室以及时间投影室等新的丝室系统，为不同实验提供各异的探测工具。

（撰写：彭华寿　审订：陈玉华）

P

pinzhongzi hesu

贫中子核素 neutron-deficient nuclide 某核素与其在质子数对中子数坐标系中 β 稳定带上的同位素相比，核素内的中子与质子的比值低于β 稳定带上同位素的中子与质子的比值，这种核素称贫中子核素。各种核素可按其质子数（Z）与中子数（N）绘制成核素图（参见*丰中子核素*）。稳定核素在核素图上中子数与质子数的比值（N/Z）分布在一个狭长的有限范围内。贫中子核素的中子数与质子数的比值低于这个范围，原子核内质子数相对过多，多余的质子会转变成中子，同时放出一个 β^+ 粒子或从核外俘获一个轨道电子。因此这类核素大多发生 β^+ 衰变或电子俘获衰变。贫中子核素一般用带电粒子加速器制备，多为短半衰期核素。目前贫中子核素（如 ^{11}C，^{13}N，^{15}O，^{18}F）多用于药物的放射性标记以开展正电子断层显像（PET）诊断。

（撰写：吕延晓　审订：卢玉楷）

pinzhi yinshu

品质因数 quality factor (Q) 表示吸收剂量的微观分布对危害的影响时所用的因数。其值是根据水中的传能线密度值而指定的。对于具有能谱分布的辐射，可以计算 Q 的有效值 $\overline{Q}$。在实际辐射防护中，可以按照初级辐射的类型使用 Q 的

近似值。国际放射防护委员会在国际放射防护委员会第 60 号出版物中指定品质因数 Q(L) 与非限制性传能线密度 L 之间的关系式如表所示。

指定的 Q－L 关系式

水中的非定限传能线密度 L/keV · μm^{-1}	Q(L)
< 10	1
10 ~ 100	$0.32L - 2.2$
> 100	$300/\sqrt{L}$

（撰写：董柳灿　审订：潘自强）

pingdong fangshi dixia heshiyan

平洞方式地下核试验　tunnel nuclear test　在山体中开掘水平廊道，将核装置放在平洞中进行的核试验。平洞方式的核试验中可以在多个廊道中布置测量点，最有利于安排更多的测量项目，通过准直管道，探测器可以准确瞄准核装置，并且在管道周围放置足够的屏蔽材料以降低本底射线。在平洞试验中还可以架设大口径的真空管道，模拟高空条件，进行高空核爆的辐射效应研究。各种强辐射的效应研究工作都是在平洞核试验中进行的。但为了防止放射性物质大量泄漏，山体



我国平洞核试验用的廊道

的形状和相对高度要求较高，从爆炸点到山体表面的最小抵抗线必须大于安全所要求的距离，对于威力较大的核爆炸试验，很难找到合用的场地。（撰写：吕　敏　审订：乔登江）

pingjun shecheng

平均射程　mean range　物质中一定能量的粒子束在入射方向上的平均穿行距离。由于粒子与物质相互作用具有一定的概率，因此单个粒子的能量损失有一定的分布。此外，碰撞会引起粒子改变运动方向，形成曲折的运动轨迹，因而各个粒子运动轨迹在入射方向的投影具有分散性，称为射程歧离。实用中有意义的是取其平均值，称之为平均射程，简称射程。

（撰写：施义晋　审订：丁大钊）

pingmiangongyi gui tanceqi

平面工艺硅探测器　planar technology silicon detector　将制作集成电路最广泛使用的平面工艺技术（氧化钝化、光刻、离子注入等）用于探测器制备而发展起来的一系列新型探测器的总称。包括 P-N 结探测器，像素探测器，一维、二维微条带探测器，一维、二维及径向漂移室探测器，电荷耦合器件（CCD）探测器及光二极管等许多类型。由于平面工艺硅探测器的带动，促进了低噪声、低功耗的信号读出电路集成在探测器的同一芯片上，不但进一步提高了探测器的性能，而且发展出了许多新的器件。平面工艺硅探测器是当前半导体探测器发展中最活跃的领域。平面工艺硅探测器成功地将探测器的漏电流降低了两个数量级以上；采用漂移室结构的探测器更可以把探测器电容也降低两个数量级以上；读出电路与探测器集成在一起使连接电容大大减小；再加上平面工艺技术所特有的线宽小、一致性好、能批量生产等特点，这些以前不敢企求的革命性的变化使平面工艺硅探测器的能量分辨、位置分辨、读出速度、工作温度、小型化等性能都出类拔萃。平面工艺硅探测器主要用于探测带电粒子和X射线，已广泛应用于核物理、基本粒子物理、光学和X射线天文学、核工业、医学、材料测试及其他许多领域。

（撰写：杨银祥　审订：郭昭乔）

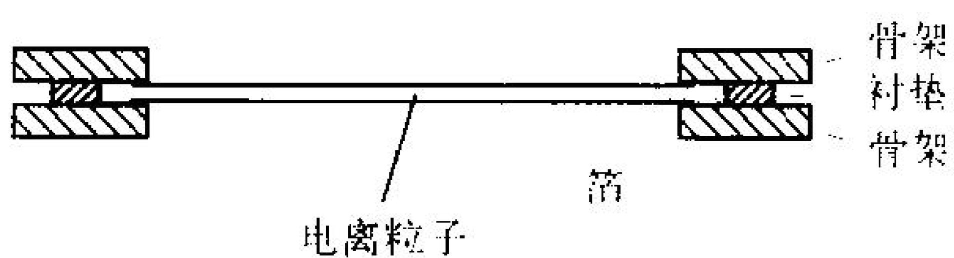
pingmian luoxianqiang

平面螺线腔　spiral resonator (SR)　离子直线加速腔。它由一条起着四分之一波长谐振线作用的平面螺线卷曲而成，它的外端通过一短杆固定在圆柱腔筒壁上（地电位），内端联着一个位于轴线上的漂移管（驻波波幅电位）。腔的两端板中央分别安装两个漂移管，它们与中央的漂移管分别形成两个加速间隙。间隙所形成的加载电容也使四分之一波长线的谐振频率有所降低。离子通过两加速间隙中央所需的时间正好是射频电压的半个周期，因此离子受到两次加速。这种加速腔的机械强度优于螺线波导腔，谐振频率可处在 100 MHz 左右的较大范围。由于它呈螺线状，腔的直径可以不大。它对加速不同的离子种类和能量范围有很强的适应性；它可单腔工作，也可做成相位、电场可分别调节的腔串，从而在加速能量增益较大时，仍对加速不同的离子种类和能量范围有很强的适应性，是现在常用的加速腔之一。

（撰写：方家训　审订：关遐令）

pingxingban xuebengshi

平行板雪崩室　parallel-plate avalanche chamber　由两平行平面电极构成，并工作在正比放电区的气体电离探测器。它两电极间的距离较窄（1 ~ 3 mm）（见图），工作气体的气压较低 666.61 ~ 3999.66 Pa (5 ~ 30 Torr)，在两电极间形成很高的约化电强 E/p（E 为电场强度，p 为气压）。当射线进入室内灵敏区使气体分子电离，在窄小的电极间形成电子



平行板雪崩室示意图

雪崩，电子漂移速度很高，输出信号的信噪比很大，所以这种雪崩室的时间分辨本领比一般正比计数管要高得多，时间分辨率可达亚纳秒数量级，它是较理想的快定时探测器。由于它的结构简单、成本低以及辐照损伤小，在核物理实验中提供精确定时和高计数率的测量工作，尤其在重离子实验物理中受到重视。如果它的电极平面由若干位置灵敏单元构成，这种雪崩室还做既定时又定位的辐射探测器，或与其他探测器组成多参数测量系统。

（撰写：于　宸　审订：彭华寿）

pingjia canshu

评价参数　assessment parameters　环境辐射影响评价所用模式中的参数之统称。分为与模式直接相关的参数（该模式中专用的参数）和独立参数。前者须与模式一起由实验、统计而得，后者可单独通过实验、调查、统计分析而得。例如大气

环境影响评价中，扩散参数 σ_y，σ_z 等都是第一类参数，而人对环境的利用因子、剂量学转换因子等则是独立参数。评价参数包括：(1) 环境数据；(2) 人口数据；(3) 剂量因子；(4) 其他参数。 （撰写：张永兴 审订：胡逢全）

pingjia fanwei

评价范围 assessment scope 辐射环境评价区域的大小。我国规定以核设施为中心 80 km 半径的区域为评价范围；美国规定核设施评价范围为 80.47 km（50 mile）；联合国原子辐射效应科学委员会取为 100 km。这个范围内关键人群组所受年剂量 H_E 和该范围内之集体剂量 S 为评价指标。对于小型核设施，在取得有关环境保护主管部门同意后，可适当缩小评价范围。

（撰写：张永兴 审订：陈竹舟）

pingjia moshi

评价模式 assessment model 辐射环境影响评价（是预断性评价）中，用以预估核设施运行后，排放到环境中的放射性核素，由于输运、弥散、迁移和生物积累的结果，造成的各种环境介质（如空气、水、沉淀物、土壤以及陆生和水生食物）中的放射性核素浓度，最终被人摄入，从而对关键人群组造成的有效剂量以及评价区域内（我国规定为 80 km）公众的集体剂量所用理论、公式和参数的总称。分为用于正常运行工况下的评价模式和事故工况下的评价模式。辐射环境影响评价模式包括：源项子模式；放射性核素在环境中输运和弥散（大气、地面水、地下水等）子模式；模拟放射性核素在生物体中浓集和被人体摄入的转移与位移子模式；剂量学子模式等。环境评价模式必须是足够完整的，所有重要的照射途径都应包括在内，并且结果中的不确定度范围也已经通过验证试验所确认。理想地，参数值和模式预测应能通过现场验证的考验。对于未经考验的评价模式，为了减少低估的概率，应当对保守偏差的程度给出期望的和清楚的说明。

（撰写：张永兴 审订：胡逢全）

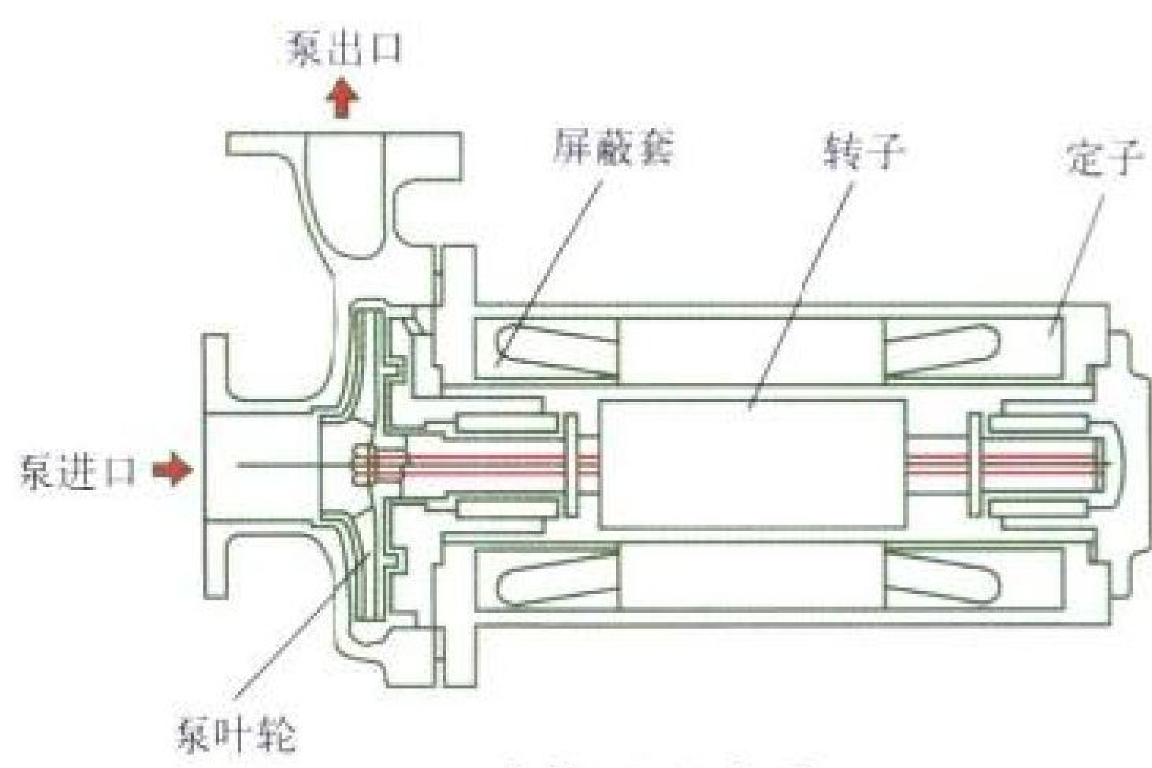
pingjia ziqu

评价子区 subarea of assessment 为进行环境评价，将评价区按一定方法划分成若干更小的子区，在进行活度浓度和剂量计算时，一般把同一子区网格点的计算参数视为常数，我国现行法规规定在作辐射环境评价时，将 80 km 的评价范围按 16 个风向方位（N，NNE，NE，NEE，E，ESE，SE，SSE，S，SSW，SW，WSW，W，WNW，NW，NNW）和 12 个不同半径（即 0.5，1，2，3，5，10，20，30，40，50，60，80 km）交织成 192 个小子区，供计算每个子区的个人剂量和集体剂量，这种小子区称为评价子区。

（撰写：张永兴 审订：陈竹舟）

pingbi beng

屏蔽泵 canned pump 用屏蔽电动机驱动的泵（见图）。它的主要结构是将电动机的定子绕组和转子绕组置于一个密封的筒体内，取消了泵轴的动密封结构。转子轴靠液体润滑的推力轴承和导轴承支承和对中，在轴的伸出端安装泵的叶轮等水力部件。泵的壳体与电动机的筒体用法兰连接并密封。定子绕组和转子绕组分别用金属屏蔽套封闭，绕组和轴承由循环流动于转子腔内的流体冷却，并由冷却器将热量传至冷却水。若输送高温液体，可设置外置式冷却器，用以冷却转子腔的流体。屏蔽泵的主要特点是密封性能好，适于输送贵重、放射性的液体。普遍用于石油、化工、航天和核工业，有广阔的应用前景。

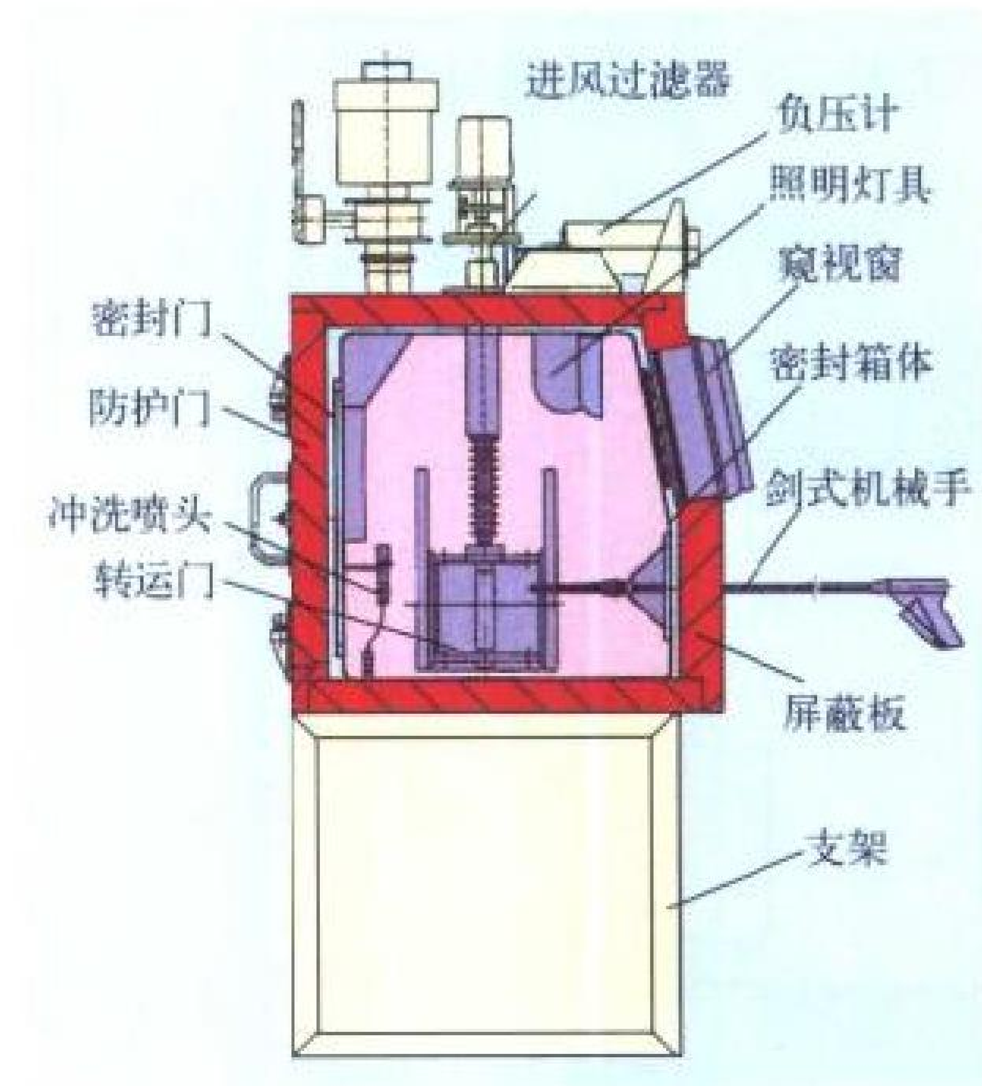


屏蔽泵示意图

（撰写：王天锡 审订：孙玉发）

pingbi gongzuoxiang

屏蔽工作箱 shielded box 用于操作放射性物质、有屏蔽层、采用简单操作工具的密封箱式设备。如图所示，屏蔽工作箱一般有一个密封箱体，箱体外有一层屏蔽层，对操作中出现的强 γ 射线的放射性物质，采用高密度材料如铸铁、碳钢或铅砖制造屏蔽层；如屏蔽中子，利用慢化吸收截面大的材料如含硼石蜡、特种塑料等制造屏蔽层。窥视窗常用铅玻璃或硅油作主体材料。操作工具采用结构和动作均较简单的剑式机械手。工作箱中有足够照度的照明，带有进排风过滤器的通风系统，箱体内保持一定的负压和换气次数。



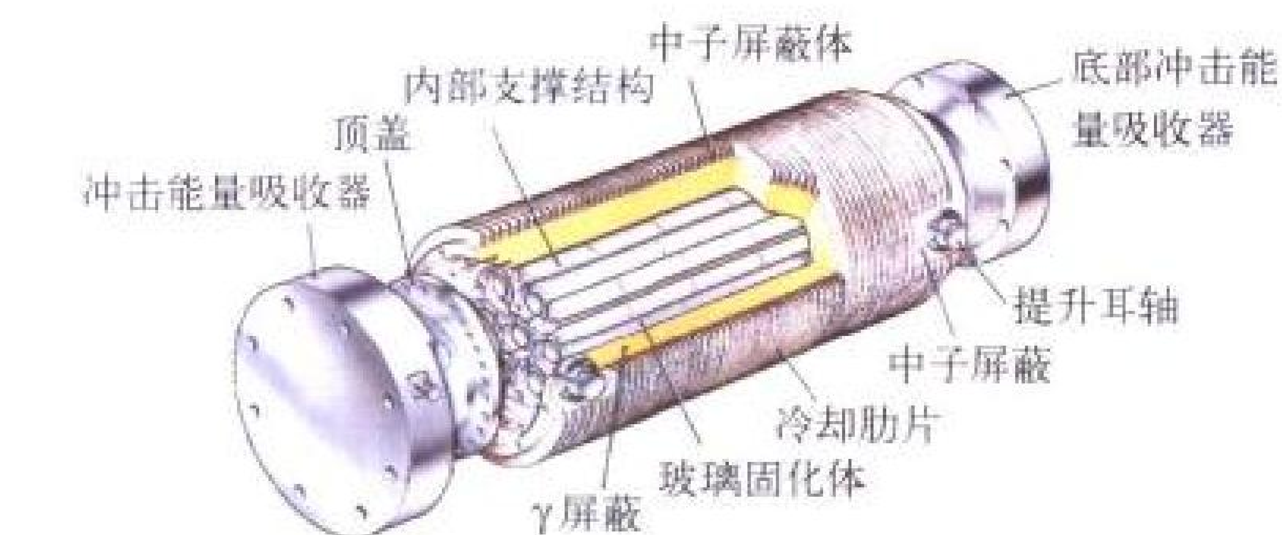
屏蔽工作箱示意图

（撰写：许源振 审订：郑华铃）

pingbi rongqi

屏蔽容器 shielding container 带有屏蔽体的辐射源容器。按其使用目的通常可分为贮存容器和运输容器。对于贮存容器，除了有满足容器外剂量场限制所需的屏蔽体厚度外，还要依实际情况有相应的防临界、传热、可操作和密封方面的要求。某些可能用作长期贮存目的的容器，还可能需有抗老化等的长期稳定性要求。对于放射性液体和某些放射性气态物的贮存容器，还要有良好的抗腐蚀性要求。对于运输容器，除了有与贮存容器相似的要求外，还有满足安全运输所需要的有关可靠性方面的特殊要求。为保证运输容器的高度可靠性，它的设计和制造都必须采用严格的规范和标准，并且要经过各种如冲击、叩击、挠曲和热学试验，水浸和泄漏试验，自由下落试验，堆积试验和贯穿试验等正常和事故条件的考验。在运输活动开始之前还需经有关安全当局的批准。一个典型的强放射性固体废物运输容器如图所示。

P

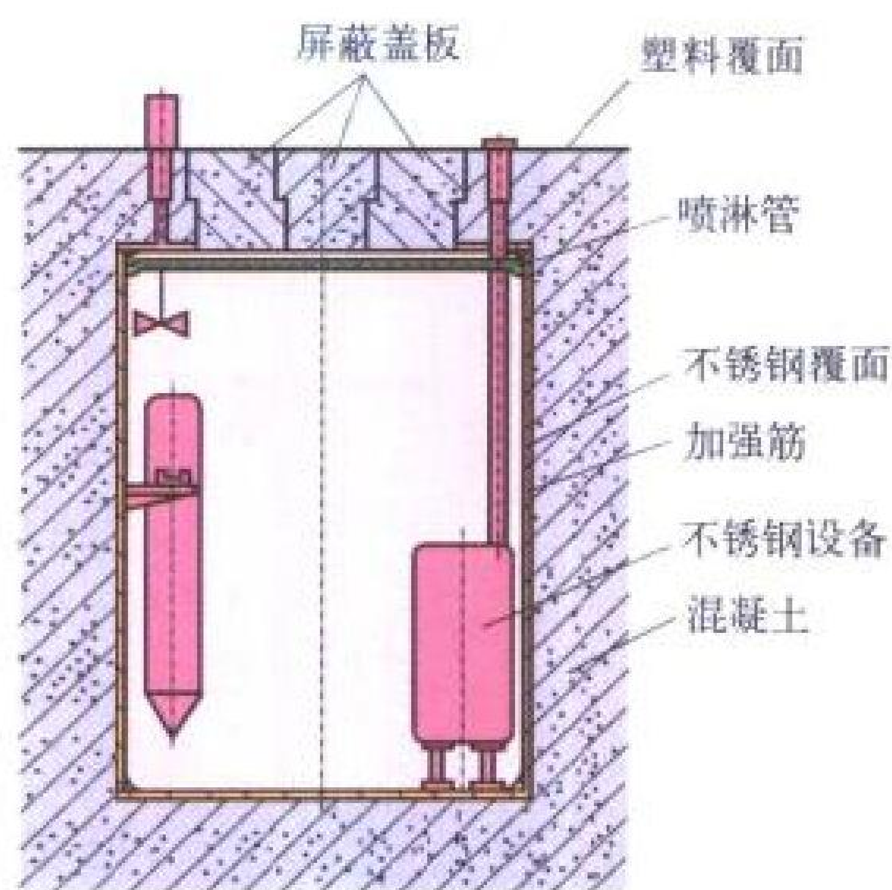


乏燃料后处理高放废液玻璃固化体运输容器示意图

（撰写：华 旦　审订：吴德强）

pingbi shebeishi

屏蔽设备室　shielded cave　具有强大屏蔽能力的安装强放射性工艺设备的密闭室（见图）。设备室的内表面一般有一层不锈钢覆面构成密封层，覆面外面有一层厚的重混凝土或普通混凝土构成屏蔽层，顶部是活动的密封屏蔽盖板，打开后可安装工艺流程中的各种工艺设备。设备室里的工艺设备和管道都应能够排空料液，必须运行可靠，检修概率低，检修时必须采用专用的检修装置从设备室外更换设备室中的设备或零部件。设备室有很好的屏蔽和密封性能及核安全性能，广泛应用于后处理厂、核化工厂及核实验室等核设施中。



屏蔽设备室示意图

（撰写：许源振　审订：郑华铃）

pingbi sheji yu jisuan

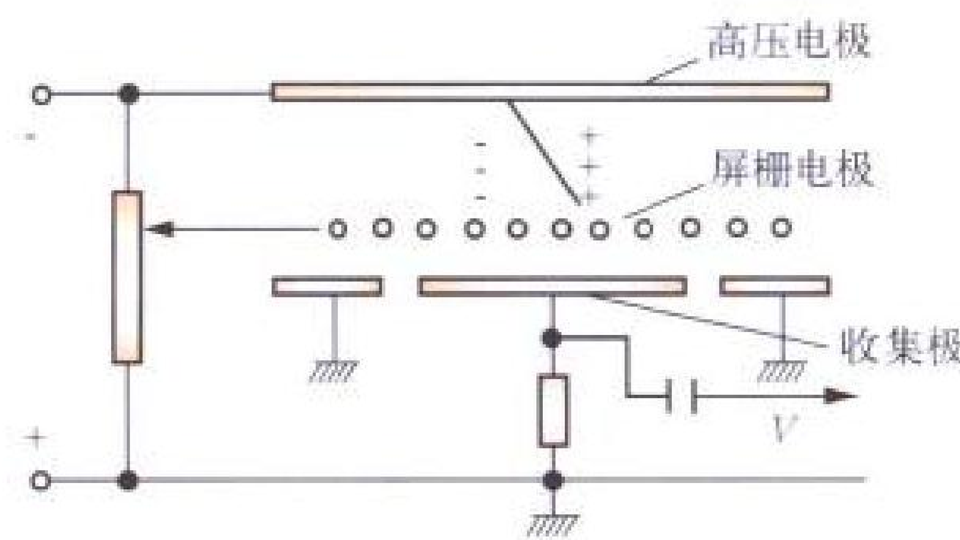
屏蔽设计与计算　shield design and attenuation calculation　在核设施工程设计中，采用屏蔽体来确保工作人员及公众所接受的外照射当量剂量低于相应的设计目标值，确保有关材料和设备的辐射损伤和辐射生热安全的设计工作以及其他相关的工作统称为屏蔽设计。屏蔽设计不仅要基于设施的正常运行条件，并且要考虑设计基准事故和某些严重事故条件下潜在照射的影响。屏蔽设计是一个过程，它通常包括三个不同的阶段：(1) 初步概念设计；(2) 最终概念设计或技术设计；(3) 详细的工程设计或施工图设计。屏蔽计算主要是屏蔽体对辐射的减弱计算、屏蔽体的辐射发热计算、各薄弱环节（孔、缝及不均匀材料）的漏束计算，以及壁面和天空的射线反散射计算等，它是屏蔽设计过程中典型的不可缺少的环节。随着各种辐射源发出的辐射特性不同、屏蔽材料的组成成分和几何形状的不同，有关的屏蔽减弱计算方法和屏蔽效能方面会有极大的差别。对于不同计算精度要求和复杂程度不同的结构形状，也应采用相应的不同计算方法。典型的计算方法有计及次级积累效应的点核积分法、求解粒子或光子输运方程的 Sn 或 Monte-Carlo 法，以及根据实验数据的半经验计算方法等。　（撰写：华 旦　审订：吴德强）

pingbiti

屏蔽体　shield　为降低某一区域的辐射水平而置于辐射源和人、设备或其他物体之间的由能减弱辐射的材料构成的实体屏障。屏蔽体通常要满足以下要求：(1) 屏蔽体与辐射源系统的整体性，即在不少实际情况下，屏蔽体应是辐射源系统的一个不可分割的组成部分；(2) 屏蔽效能的一致性，即具有相同设计标准的各个相邻的屏蔽体部分，应当具有相同的屏蔽效能；(3) 屏蔽体的安全性和稳定性，即必须在它的使用寿期内保证它的辐射减弱效能不变和结构上的可靠性；(4) 在满足前述条件下的灵活性，这对可移动式屏蔽体尤为重要；(5) 经济性，这实际上是辐射防护最优化概念的一部分，工程上由于各种因素综合考虑复杂，往往难以做到最优化，但是降低造价以达到一定程度的优化还是做得到的；(6) 要形状简单、易于加工制造、易于施工安装和减少使用后的检查和维修工作量。　（撰写：华 旦　审订：吴德强）

pingshan dianlishi

屏栅电离室　grid ionization chamber　通常用于测定α粒子或裂变碎片能量的一种脉冲电离室。从结构上讲，它是在普通电离室的正、负电极之间附加一个处于某个中间电位的栅网状的第三个电极（屏栅电极）而构成的（见图）。α粒子或裂变碎片对气体的电离被限制在阴极和屏栅极之间。当电子以比离子的漂移速度高三个量级的速度穿过栅极而被集电极收集的过程中，由于栅极的屏蔽作用而使得电子所获得的加速能量只取决于栅极和收集极之间的确定电位差，而不会受到尚未被收集的离子云电场的影响，因此收集到的信号大小只正比于α粒子或裂变碎片所产生的初始电子总数，而与电子产生的地点无关，从而确保了极好的能量分辨本领。与半导体α谱仪相比，由于它的阴极面积可以做得很大（如几百或几千平方厘米），因此可以不经化学浓缩而采用直接物理铺样的办法，这样不仅简化了操作，而且更重要的是可以避免由于化学浓缩过程对核素的选择作用而使某些不易被化学浓缩的核素在制样过程中被丢失。正是由于屏栅电离室既具有相当好的能量分辨本领，又具有很好的探测灵敏度，因此和半导体α谱仪一样在很多方面得到十分广泛的应用。



屏栅电离室示意图

（撰写：夏益华　审订：胡遵素）

po

钋　polonium　一种天然放射性元素，化学符号 Po，原子序数 84，属周期系ⅥA族。因纪念 M.居里 (Curie) 的祖国波兰 (Poland) 而命名。1898 年 M.居里和 P.居里在处理沥青铀矿时发现钋。已发现质量数 191～218 的钋同位素，其中半衰期最长的同位素是 ^{209}Po (102 a)。钋为银白色金属，在黑暗中发光，熔点为 254 ℃，沸点 962 ℃，钋原子的电子构型为 (Xe) $4f^{14}5d^{10}6s^{2}6p^{4}$。氧化态为 −2，+2，+4，+6，以 +4 氧化态最稳

定，化学性质与碲和铋相似。

（撰写：张若桦　修订：郭景儒　审订：崔安智）

po

钷　promethium　一种人工放射性元素，化学符号 Pm，原子序数 61，属镧系元素。半衰期最长的同位素是 ^{145}Pm (17.7 a)。钷根据希腊文 prometheus (火) 命名。1945 年 J.A.马林斯基 (Marinsky) 和 L.E.格伦丁宁 (Glendenin) 从铀的裂变产物中首先分离得到钷的两个同位素 ^{147}Pm 和 ^{149}Pm。钷原子的电子构型为 (Xe) $4f^5 5d^0 6s^2$，氧化态为＋3。^{147}Pm 是钷最重要的同位素，是纯 β^- 发射体，半衰期 (2.62 a) 适中，可以作软 β 放射源，用于纤维和造纸生产过程中，消除聚集的静电，也可以用作厚度计、密度计的 β 源。^{147}Pm 的 β^- 射线能使荧光体发光，可制作易于防护的发光粉和用于航标灯，也可以用作核电池的燃料。

（撰写：刘伯里　金昱泰　修订：罗文宗　审订：崔安智）

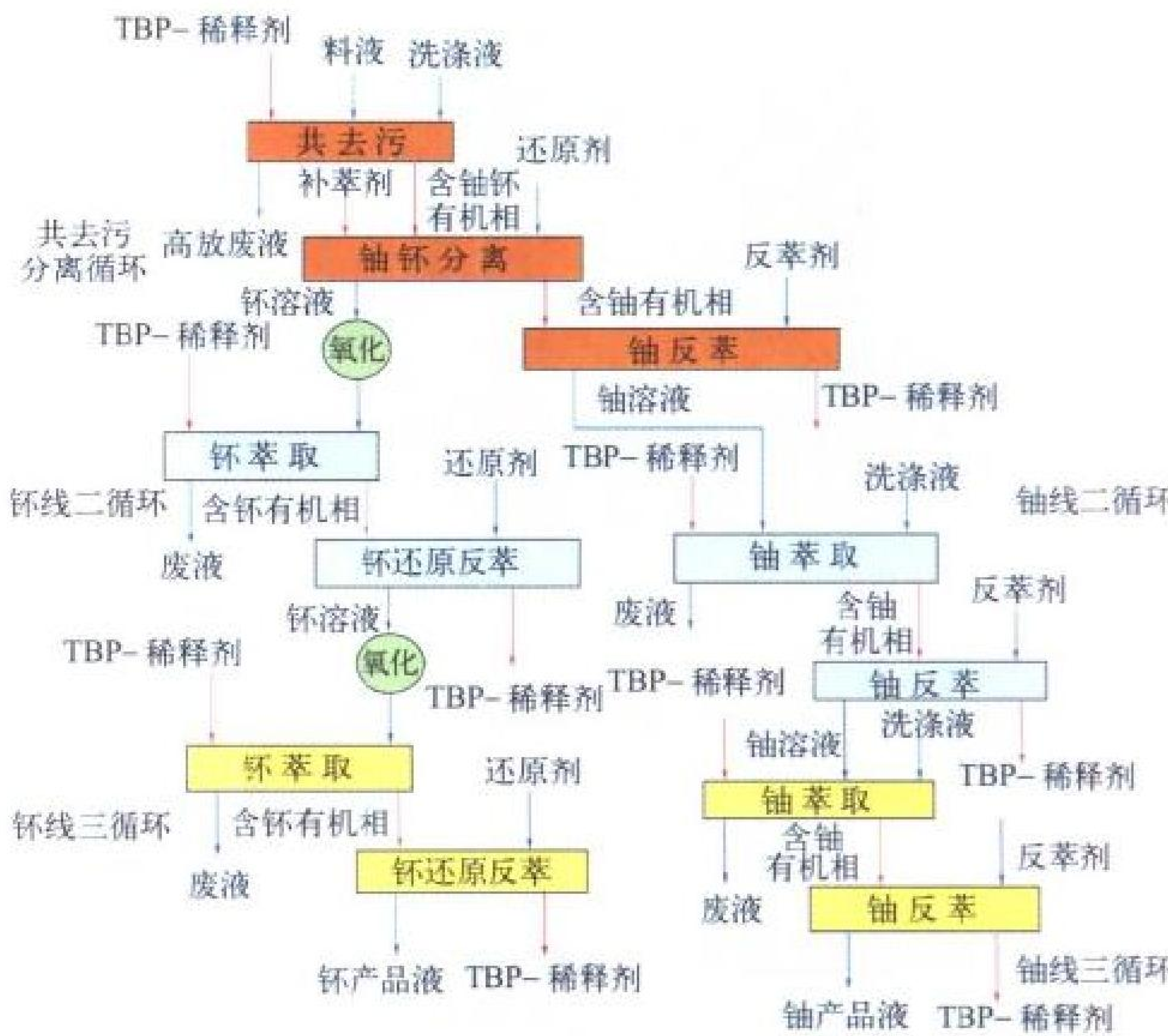
pu

镤　protactinium　一种天然放射性元素，化学符号 Pa，原子序数 91，属锕系元素。以希腊文 Protos (前) 加上 actinium (锕) 而命名。1913 年 K.法扬斯等发现了镤，它是铀镭放射性衰变系的成员 ^{234}Pa。现在已发现质量数在 213～239 的 26 个镤同位素，其中寿命最长的镤同位素为 ^{231}Pa，半衰期 3.276×10^4 a。金属镤属四方晶格，在空气中稳定，熔点低于 1600 ℃，密度 15.37 g/cm^3。镤原子的电子构型 (Rn) $5f^2 6d^1 7s^2$，有 +5、+3 和 +4 三种氧化态。五价镤的化学性质与铌、钽相近。

（撰写：金绮珍　修订：郭景儒　审订：崔安智）

puleikesi liucheng

普雷克斯流程　PUREX process　采用磷酸三丁酯作萃取剂，从乏燃料溶解液中分离回收铀、钚的溶剂萃取法核燃料后处理工艺流程。PUREX 是英文 "Plutonium Uranium Recovery by Extraction"(萃取回收钚铀)的缩写。磷酸三丁酯 (TBP) 需用稀释剂，常用正十二烷、加氢煤油等烃或烃混合物稀释，TBP 浓度通常为 30% (体积)。其具体流程如图所示。该流程可回收 99.9% (重量) 的钚，去污系数 (因子)为 10^6～10^8。普雷克斯流程是美国科学家在 1949 年提出的，于 1954 年 11 月在美国投产。其后，普雷克斯流程逐渐成为国际上占主导地位的核燃料后处理流程。当前普雷克斯流程的改进主



普雷克斯流程示意图

要是采用无盐流程，包括采用四价铀代替氨基磺酸亚铁作还原剂，或采用电化学还原法。另一方面的改进是采用强化措施，简化流程，降低运行费用。

（撰写：马栩泉　审订：林漳基）

putong wutan

普通物探　non-radiometric geophysical exploration (prospecting) method　在铀矿地质领域内除放射性测量方法外，其他所有测量非放射性地球物理场方法的统称。普通物探方法采用相应的仪器，测量工作区岩（矿）石的电（电磁）、磁、重力、弹性波速及红外辐射场等的空间分布特征。在铀矿勘查中主要用于查明工作区地质构造特征，提供研究铀成矿环境和远景预测的有价值的间接信息。普通物探方法分为地面、井中和航空物探方法。

（撰写：蒋永一　审订：李家俊）



q zhi anquanyinzi

q 值(安全因子) q value (safety factor) 见托卡马克等离子体的扭曲模不稳定。

qilate chaermosi xiaoying

齐拉特—查尔默斯效应 Szilard–Chalmers effect 在中子核反应中由生成核的反冲所引起的靶物质的化学变化。1934年 L.齐拉特 (Szilard) 和 T.A.查尔默斯 (Chalmers) 用中子照射碘乙烷时发现经核反应 $^{127}I(n,\gamma)^{128}I$ 得到的放射性同位素 ^{128}I，大部分并不以原来的碘乙烷形式存在，而是以元素态或离子态形式存在。后人称这一实验现象为齐拉特—查尔默斯效应。后来在研究该效应的基础上，逐步地形成和发展了热原子化学。

（撰写：刘元方　修订：罗文宗　审订：崔安智）

qiyi yuanzi huaxue

奇异原子化学 exotic atom chemistry 基本粒子物理与核化学相交的边缘学科。奇异原子就是普通原子中的一个电子被其他带负电的粒子，如 μ^-, π^- 等代替，或是原子核中的一个质子被其他一个带正电的粒子，如 e^+, μ^+ 等代替而组成的原子。能够形成奇异原子的基本粒子除了 e^+，$\mu^\pm$, $\pi^\pm$ 外，还有 K^- 介子、反质子和负超子 Σ^-, Ξ^-, Ω^- 等。该学科主要研究物质的化学特性影响奇异原子形成和衰变的规律，以及利用可以形成奇异原子的基本粒子，如正电子、正介子、负介子等与物质的相互作用来研究物质结构和反应动力学等问题。该学科提供了一种研究分子的电子结构和材料化学性质的新途径。

（撰写：王蕴玉　修订：罗文宗　审订：崔安智）

qidong fanyingdui celiang mangqu

启动反应堆测量盲区 reactor start-up instrument blind zone 反应堆处于临界状态附近核仪表系统（源区段）测不到的低中子注量率范围。反应堆核仪表系统的设计不允许出现启堆测量盲区。出现启堆测量盲区的原因可能是源区段探测器灵敏度太低、源区段探测器位置不当或堆芯中子源的源强太弱以及上述诸因素的组合。

（撰写：赵善德　审订：孙玉发）

qibao xulie

起爆序列 initiating train 引爆核武器主装药的爆炸环链。布于主装药外表面。其结构可能有多种类型。最主要的一种是由雷管，可能还有传爆药柱（或者把两者结合在一起设计成专用的起爆插座）和起爆元件（全称爆轰波聚焦元件）组成。从炸药感度而言，起爆序列传递由“敏感”到“钝感”；从爆炸作功能力来说由弱到强。由于主装药外表面分布多个起爆序列装置，所以对其爆轰性能有严格要求。第一，各起爆序列装置中的雷管必须瞬间同步引爆；第二，爆轰波在起爆序列中传播时间要求高度同步；第三，单个起爆序列装置对所覆盖的主装药表面的引爆时间高度同步。这样，诸引爆序列装置就可以同步引爆主装药（按均方差计算同步时间差在亚微秒级）以使主装药爆轰聚焦效果良好。另外，也有在主装药外表面用多点引爆的起爆序列。一般由雷管和爆炸网络板组成。多个爆炸网络板拼合布满主装药外表面并密合贴紧。网络板一般由轻金属制成。每块板上刻有引爆孔、等长的传爆沟槽和扩爆孔并填以炸药。这样雷管起爆引爆孔装药后经过传爆沟槽同时引爆扩爆孔装药，主装药上对应扩爆孔的点被同步引爆。通过爆轰传播整形在主装药内形成内聚球面波。另一种是由雷管引爆等长的导爆索束，诸导爆索束末端加扩爆药与主装药表面贴紧。雷管引爆导爆索束和扩爆药在主装药表面多点同步引爆。多点引爆的优点是设计简单，但缺点是在主装药中初始波形不光滑。波形差和状态差都较大，必须通过传播整形才趋于均匀，但这将使主装药能量利用率下降。

（撰写：刘文翰　审订：俞大光）

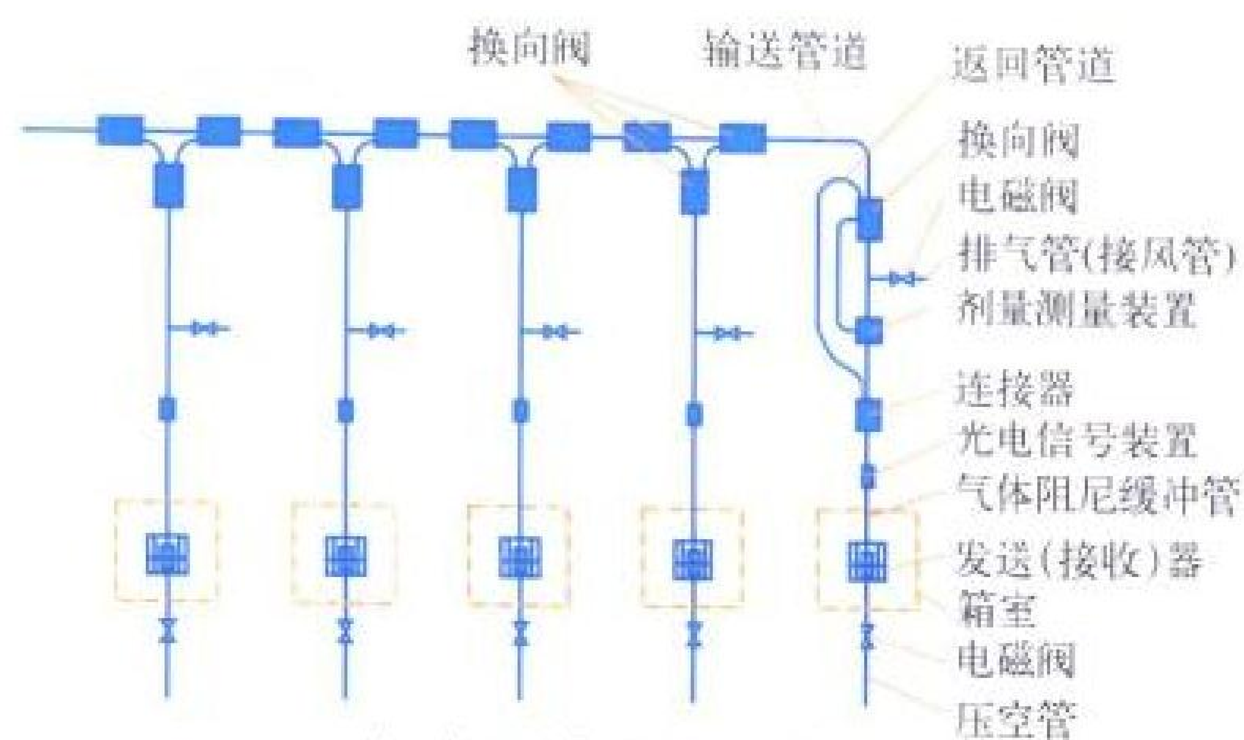
qibao yuanjian

起爆元件 initiating component 爆轰波聚焦元件的简称。同步引爆主装药的一种装置。它能将雷管引爆形成的外爆散心波变成内聚球面波，大体上有两种结构。其一是，起爆元件由炸药盘（有时还有传爆药柱）和金属飞片（轻金属，轴对称碗形）组成。有时为防止爆轰作用下飞片中部出现断裂，在药盘与传爆药柱间加一层铜片。炸药盘外部有金属或有机玻璃外罩。起爆元件的同步引爆主装药是利用炸药爆速比爆轰驱动飞片飞行速度快得多（一般 4∶1）的原理，合理地设计飞片几何形状，使之在点爆散心爆轰波（通过药盘）的作用下，飞片各部位同步（亚微秒级）碰击引爆主装药。在主装药内形成内聚球面波。这种装置称为飞片起爆元件。其二是起爆元件由高低爆速炸药组成，称为炸药起爆元件，爆轰波在不同爆速炸药中的传播规律和光波在不同介质中的传播规律相似。因此可以利用费马原理设计高、低爆速炸药交界面的曲线坐标。在第一种炸药中由雷管引爆的散心波经过炸药分界面传播到第二种炸药中。由于爆轰波通过界面爆速改变而发生“折射”，改变了传播路径，从而在第二种炸药中形成内爆聚心球面波。只要两种炸药成分、密度均匀一致，内爆球面波同步时间差也可以达到亚微秒级。

（撰写：刘文翰　审订：俞大光）

qidong songyang

气动送样 pneumatic transfer sample 用空气作动力，将装于运载容器中的放射性样品或其他样品通过管道进行运送。如图所示，气动送样系统由运载容器、输送管道、发送（接收）器、压空（或真空）系统、控制和信号系统等组成。从发送端输入压空则为压空输送，从接收端接上真空系统则为真空输送。气动送样的特点是运载容器的运动速度很快，一般超过 10 m/s，所以输送管道外面不必设置 γ 射线和中子的屏蔽层。位于输送管道各端点的箱室设备可以布置在不同方位、不同楼层或不同厂房里。输送管道占用的空间小。气动送样系统造价低，操作简便，应用于核工厂、核实验室中。



气动送样系统示意图

（撰写：许源振　审订：郑华铃）

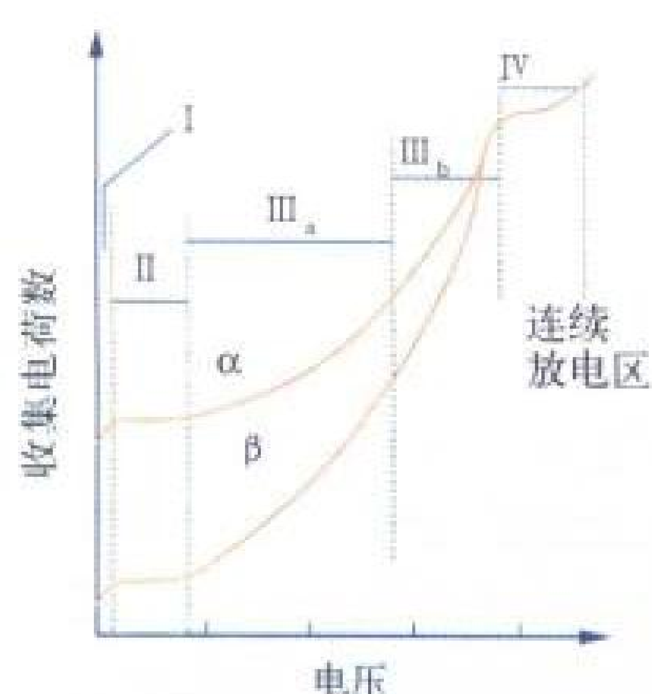
qitichuan guangyuan

气体氚光源　gaseous tritium light source　又称氚灯。内涂磷光体，并充有氚气的玻璃密封的灯泡形光源（参见原子灯）。

（撰写：吕延晓　审订：蔡善钰）

qiti dianli tanceqi

气体电离探测器　gas ionization detector　基于电离辐射使气体电离的辐射探测器。该类探测器有两个电极并充有工作气体，在两电极间施加工作电压。入射辐射在气体中产生电离，电极上收集的电荷数与电离粒子的性质有关，也与外加电压的大小有关，收集的电荷数与工作电压的关系如图所示，其中可分为几个放电区，图中Ⅰ区为电离复合区，该区电场较弱，不能将初始电离电荷全部收集；Ⅱ区为电离饱和区，在此区内收集到全部初始电离电荷；图中III_a区为正比放电区，此区工作电压较大，使初始电离电子从电场获得足以再使气体分子进一步电离的能量，即产生了电子雪崩（又叫气体放大），但收集电荷数与初始电离大小成正比关系；图中III_b为有限正比区，在此区内电子雪崩更加增大，产生了空间电荷，空间电荷抵消一部分外加电场，收集电荷数与初始电离大小不成正比关系；图中Ⅳ为盖革放电区，在此区内电子雪崩更进一步增大，放电过程中所产生的大量光子开始起作用，光子又引起新的离子增殖，放电沿阳极丝发展，此时收集的总电荷数与初始电离无关。工作在Ⅱ，III_a和Ⅳ区的气体电离探测器一般分别叫做电离室、正比计数管和盖革计数管。



收集的电荷数与工作电压的关系图

（撰写：彭华寿　审订：陈玉华）

qiti donglixue fenlifa

气体动力学分离法　aerodynamic processes　利用气体动力学原理实现同位素分离的方法。该法包括喷嘴法（参见喷嘴法）、南非的UCOR法（又称先进的涡管法）、射膜法等，前两种方法已通过浓缩铀中间工厂试验，其他方法处于研究阶段。南非在20世纪60年代开始研究UCOR法，其分离元件是固定壁离心机，工艺流体是UF_6和轻气体的混合气体，分离系数是1.025～1.030，分流比大约是0.05，由于分流比很小，为减少压缩机的数量，采用了Helikon级联技术，组装成具有大分离功率的Helikon组合。

（撰写：钱绍圣　审订：应纯同）

qiti fangdian dengliziti

气体放电等离子体　gas discharge plasma　气体中因宇宙射线或放射性矿物等因素产生自然电离形成的等离子体。在电场中其电子和离子向相反方向运动可形成电流，电流随电压上升达到饱和。再增加电压形成暗放电，接近气体击穿时形成电晕放电。电子在外加电场中加速，其能量超过中性原子电离电位时，电子的碰撞产生电离，新产生的电子与因碰撞丢失了能量的电子都被电场加速，在随后的碰撞中电子—离子对数量迅速增加，导致气体击穿，称为雪崩效应。气体击穿后通常为辉光放电。继续增高电压，若电源内阻足够低，阴极电流密度超过正常值，阴极发热并发射电子即过渡到电弧放电，常见于电弧焊、等离子体炬中。常用的等离子体产生方法有直流、交流、脉冲、高频、射频和微波等。

（撰写：钱尚介　审订：黄林）

qiti jichuan

气体击穿　gas breakdown　电传导的一种形式。在电压升高到某一值时，电流突然增大，电极间的气隙短接，气体绝缘被破坏，并伴随着“火花”产生。气体击穿起因和过程较为复杂。一般认为气体击穿的过程是：从阴极释放出的电子，在向阳极加速的途径中形成电子崩，在电子崩中的气体被电离。电子和离子数随电子前进的距离成指数增加。在初始电子崩发展过程中，在崩头和崩尾空间电荷不断积累，电场很快增强；电子崩中气体离子复合和从激发态衰退到常态而产生的光子射线也不断增强。因此，又产生了新的电子崩。初始电子崩和不断出现的新电子崩产生了一个具有电子和离子的通道，通道上的气体被完全电离，即被击穿。在气体击穿过程中突然发出大量光子射线，因此伴随着“火花”。在现今大型高压静电加速器中，为了防止气体击穿，采取如下措施：高压电极和均压环表面尽量光滑；加中间电极；充高气压绝缘气体；降低绝缘气体湿度；加^{137}Cs放射性源等。


加速器高压电极击穿图

（撰写：秦久昌　审订：关遐令）

qiti kuosan de lixiang fenli xishu

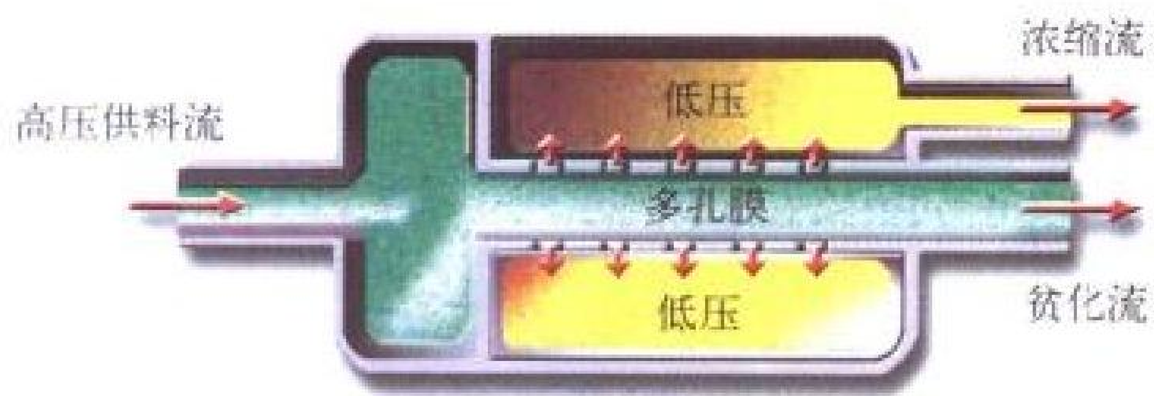
气体扩散的理想分离系数　ideal separation factor of gaseous diffusion process　用气体扩散法分离同位素时，在理想条件下同位素混合物通过分离膜所获得的分离系数。理想条件是指：(1)气体的过膜流动完全是分子流，即气体分子的平均自由程远远大于膜的平均孔径；(2)膜后的压强接近为0，无反扩散影响；(3)膜前气体混合物的压强和丰度保持不变。如果有一双组分气体混合物，其分子量分别为M_1和M_2，且$M_1 < M_2$。它们过膜的流动遵循分子流规律，这时膜后的相对丰度与膜前相对丰度之比就是理想的浓化分离系数α_i，得出$\alpha_i = \sqrt{M_2/M_1}$。在分离铀同位素时，工作介质用$UF_6$，两个组分为$^{235}UF_6$和$^{238}UF_6$，则$M_1 = 349$，$M_2 = 352$时理想分离系数$\alpha_i = 1.0043$，对应的理想浓缩系数$\varepsilon_i = 0.0043$。

（撰写：蒋同远　审订：应纯同）

qiti kuosanfa

气体扩散法　gaseous diffusion method　当不同质量的气体

分子通过多孔膜时，由于过膜流动的速度不同形成的分离过程（见图）。假设有一气体混合物由两种不同质量分子的气体



气体扩散法示意图

组成，从高压供料流进入分离单元。此股流在流过分离膜管时，一部分混合气体透过多孔膜流入膜管后的低压区。根据气体动力学，轻分子的平均运动速率比重分子的大。如果分离膜的孔径合适，使气体分子通过时只和膜孔壁碰撞而分子之间不互相碰撞，则此时在膜后的低压区内轻分子的含量就会增大，而实现了同位素的分离。从低压区取出的流中轻分子的含量比供料中轻分子含量大，称为浓缩流。而由膜管流出的未透过分离膜的流中轻分子的含量减少了，称为贫化流。

（撰写：应纯同　审订：刘广钧）

qiti kuosan fenliji de fenli xiaolü

气体扩散分离级的分离效率　stage separation efficiency of gaseous diffusion process　扩散分离级实际的分离效果与理想分离效果之比。即扩散分离器的实际浓缩系数 = 理想浓缩系数 × 扩散分离器的效率。影响效率的主要因素有：(1) 气体过膜流动中由于分子相互碰撞使流动不完全是分子流；(2) 膜后压强不为 0 而造成的反扩散减弱了分离效果；(3) 分离器中把气流分为过膜而被浓化的一股流和没有通过分离膜而被贫化的一股流，这就形成膜管中丰度沿轴向分布和径向分布。这都偏离理想状态膜前丰度不变的条件，长度沿轴向分布造成的影响叫分流因子 ζ，$\zeta=\frac{1-\theta}{\theta}\ln\frac{1}{1-\theta}$，取决于分流比 θ 值，如 $\theta=1/2$ 则 $\zeta=0.693$。膜管中径向丰度分布的影响取决于膜管中流动紊流的程度；(4) 由于膜管等安装中的隙漏，这部分气体是没有分离作用的。（撰写：蒋同远　审订：应纯同）

Q

qiti kuosan gongchang

气体扩散工厂　gaseous diffusion plant　采用气体扩散法进行铀浓缩的工厂。其任务是以天然铀（或后处理回收铀）为原料供入级联，通过很多扩散机对 $^{235}UF_6$ 的浓缩，生产达到反应堆用 ^{235}U 丰度（2 %～5 %）或军用高浓铀丰度的浓缩铀产品，同时自级联尾端排出 ^{235}U 丰度已贫化的尾料（^{235}U 丰度一般控制在 0.20 %～0.30 % 范围）。为保证气体扩散工厂的连续生产，除了气体扩散级联及供、取料的主工艺系统外，需配备自控监测操作系统、供电系统、供水系统、压缩空气系统、供热采暖通风系统、液氮生产系统及扩散机检修等辅助系统；需建立严格的质量、安全保证体系，包括分析监测中心、仪表检修校验中心、环境保护监测中心等；作为配套还需配备产品均质及倒料系统、容器清洗检修系统、废水废液废渣处理、原料库、贫料库、成品库及专用运输等设施。

（撰写：谢庄应　审订：应纯同）

qiti lixinfa

气体离心法　gas centrifugation　当不同质量分子组成的混合气体在高速离心机中转动时，由于受离心力的作用造成分离的方法。在气体离心机中轻分子的气体在近轴处富集，而重分子在近壁处得到富集。气体离心法所需的电能消耗比气体扩散法要小很多，其比能耗是扩散法的几十分之一。离心法的投资比扩散法高。但根据经济性分析离心法比扩散法要好。商业用分离铀同位素工厂以气体离心法取代气体扩散法是一种趋势。（撰写：应纯同　审订：刘广钧）

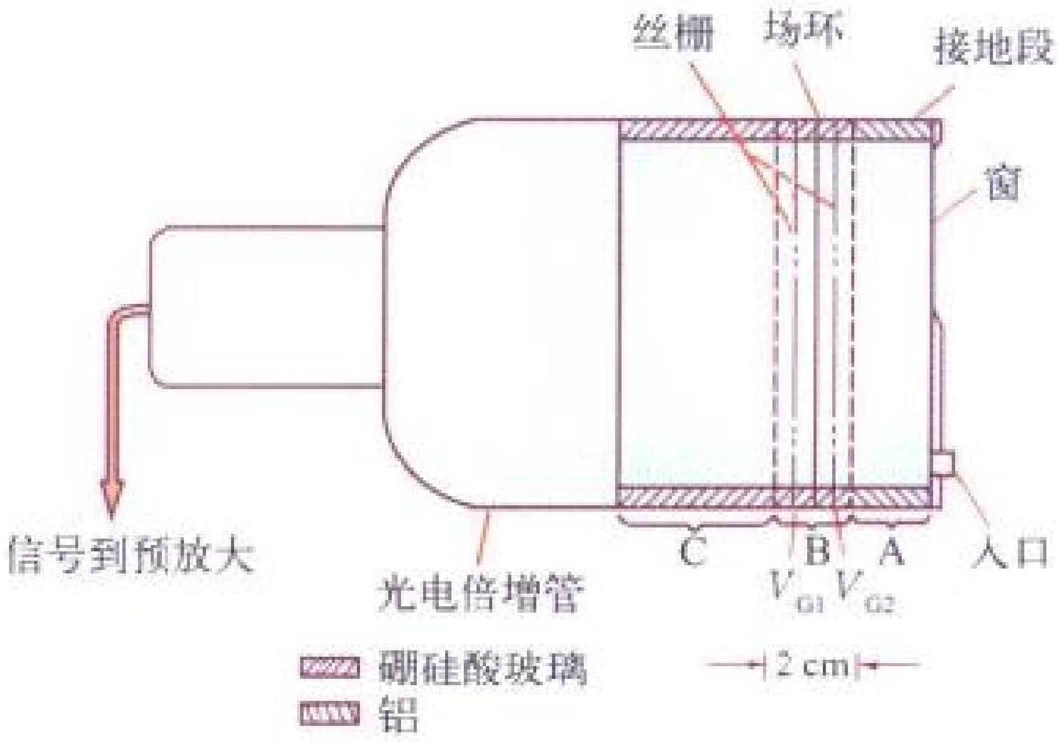
qiti shanshuo tanceqi

气体闪烁探测器　gas scintilletion detector　由气体闪烁体和光敏器件（光电倍增管）组成的闪烁探测器。气体闪烁体是一种由气体作为闪烁材料的闪烁体，所用的气体闪烁体是惰性气体（如氙、氪、氩等）。氙气的光输出最大，所以多采用氙气作为气体闪烁体。氙气分子的发射光谱主要在紫外区，为能与光电倍增管相匹配，在容器内壁表面涂覆上一层波长转换剂。容器的导光窗一般用石英玻璃做成。由于气体闪烁体的衰落时间短（约 1 ns），它对不同类型带电粒子的能量响应性能好，所以它特别适合于重带电粒子的测量，如在强 α 粒子背景下测裂变碎片，可大大减小 α 脉冲的叠加所引起的裂变碎片能谱的畸变。气体闪烁体的能量转换效率低（比 NaI (Tl) 闪烁体小一个数量级），在设计、制作气体闪烁体的容器时要尽量提高光的收集效率，选用高灵敏及低噪声光电倍增管，对闪烁气体的纯度要求较高，只在一些特殊场合使用。

（撰写：彭华寿　审订：孙汉城）

qiti zhengbi shanshuo tanceqi

气体正比闪烁探测器　gas proportional scintilletion detector　一种具有光放大作用的气体闪烁计数器（见图），其光输出信号幅度正比于入射辐射在闪烁气体中所损失的能量。与普通气体闪烁计数器的区别是它处于一外电场下工作，在此电场作用下，由入射辐射电离气体分子所产生的离子对或电激发所产生的光子，在电子雪崩过程中激发其他气体分子，而产生次级光放大的闪烁光；与普通正比计数管相比，它不是收集电子雪崩后的电离电荷，而是收集电子雪崩过程激发所产生的闪烁光。这种次级放大的闪烁光强度比普通气体闪烁体的初级闪烁光强度要大三个数量级。由于它收集的是次级放大闪烁光，因此没有正比计数管的气体放大而附加的统计起伏贡献，所以其能量分辨率比正比计数管要好一倍左右。它适用于 X 射线的能谱测量，但由于其技术相对复杂一些，还只在如天体物理等方面的应用，如安装在火箭或人造卫星上对感兴趣的天体进行观察，可以获得一些较精细的 X 射线能谱结果。



气体正比闪烁探测器示意图

（撰写：李政元　审订：彭华寿）

qitizhong xingcheng meidui lizi suoxiaohao de pingjun nengliang

气体中形成每对离子所消耗的平均能量　mean energy

expended in a gas per ion pair formed (W)　E 除以 N 而得的商，即

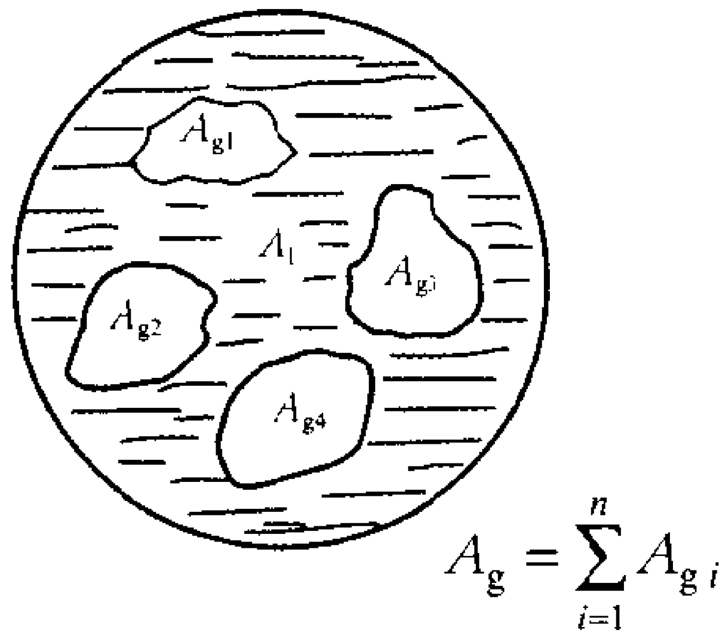
$$W=E/N$$

式中 N 为带电粒子初始动能 E 完全在气体中耗尽时所形成的平均离子对数。气体中形成每对离子所消耗的平均能量的单位为焦耳(J)，也可用电子伏(eV)表示。按照 W 的定义，N 包括带电粒子发射的轫致辐射或其他次级辐射所产生的离子。在某些情况下，必须特别注意沿粒子径迹方向形成一对离子所消耗的平均能量的变化，那就要求使用微分概念。

（撰写：董柳灿　审订：陈竹舟）

qi ye liangxiangliu canliang

气—液两相流参量　parameters of gas–liquid two-phase flow　描述气—液两相流动特性的一些物理量。主要有：(1) 真实含气率：流过某通道横截面的气—液两相流总质量流量中气相质量流量所占的份额；(2) 体积含气率：流过某通道横截面的气—液两相总体积流量中气相体积流量所占的份额；(3) 空泡份额：又称截面含气率，指两相流通道中某一截面上气相截面积占通道截面积的份额（见图）；(4) 表观速度：又叫虚拟速度或折算速度，它是为了便于两相流计算和处理数据而提出来的假想速度。两相流表观速度有：气相表观速度 J_g，指气相单独流过两相流通道横截面积 A 时的速度；液相表观速度 J_l，指液相单独流过两相流通道横截面积 A 时的速度；两相混合物表观速度 J，指两相流总体积流量与通道横截面积 A 之比，即 $J=J_g+J_l$；循环速度，与两相流总质量流量相等的液相介质流过该两相流通道横截面积 A 时的速度；(5) 滑移速度：气相真实速度与液相真实速度之差；(6) 滑速比：气相真实速度与液相真实速度之比；(7) 漂移速度：气相相对于两相混合物表观速度的流动速度。



空泡份额示意图

（撰写：郝老迷　审订：陈玉宙）

qizai fangshexing

气载放射性　airborne radioactivity　以气体形式存在、输运并进入环境的放射性物质。气载放射性包括放射性惰性气体、蒸气、挥发性气体以及放射气溶胶。惰性气体有 ^{41}Ar, ^{85}Kr, ^{133}Xe, ^{222}Rn 等；蒸气类有氚化水蒸气，汞 (^{203}Hg) 蒸气等；挥发性气体有 ^{131}I 等；气溶胶包括放射物质的微小颗粒，及放射性核素附着在空气中的微小水珠或尘埃。气溶胶粒度差别很大，较大的气溶胶在输运中受重力影响大，容易下沉。在气溶胶取样中，要注意取样管路的设计，要防止或减少气溶胶在管壁上的吸附损失。人体经呼吸途径对气溶胶的摄入与气溶胶的粒度有关，因此，在测量环境空气中气溶胶浓度时，还应测量气溶胶的粒度分布。

（撰写：赵亚民　审订：潘自强）

qiche γ nengpu celiang

汽车γ能谱测量　carborne γ-spectrometric survey　将γ能谱仪安装在汽车上，按选定的测量比例尺，沿测线(路线)测量地面岩(矿)石引起的γ辐射场及核素含量的方法。该方法主要在矿体或其分散晕出露地表的地区采用。但在山区和沙漠、沼泽等难以通行的地区不宜应用。该方法通常采用带有踏勘特点的路线测量(路线通常沿垂直于地层和构造方向布设)和在航测或前人工作的远景区内进行的面积测量。测量结果受探测器安放的位置、汽车行驶速度和地形变化等因素影响。该方法可用于解决地质填图、检查航空γ能谱异常、铀与非放射性矿产资源勘查，以及环境监测与核事故应急等任务。

（撰写：蒋永一　审订：李家俊）

qishui fenli zaireqi

汽水分离再热器　moisture separator-reheater　位于汽轮机高、低压缸之间，将汽轮机高压缸排汽中水分分离，并用新蒸汽加热送往低压缸的蒸汽，以提高其干度的装置。在正常工作条件下，高压缸排汽经汽水分离器后含水分 0.5%～1.0%。通常汽水分离再热器由三部分组成：汽水分离器、第一级再热器和第二级再热器。这三部分安装在一个圆筒形的压力容器内，组成一个完整的汽水分离再热器。圆筒形容器带有不锈钢耐腐蚀衬里，容器内部安装有支撑框架，上面焊有汽水分离组件，并支撑再热器管束。汽水分离器组件由波形板组成，按人字形布置，材质为不锈钢。一、二级再热器各由一束 U 形不锈钢管组成，管束由支承板支承。

（撰写：信天民　审订：范　刚）

qiguan huo zuzhi jiliang

器官或组织剂量　organ or tissue dose (D_T)　人体的一个特定组织或器官 T 内的平均剂量 D_T

$$D_T=(1/m_T)\int_{m_T}D\mathrm{d}m$$

式中 m_T 为组织或器官的质量，D 为质量元 dm 内的吸收剂量。器官与组织剂量单位为焦耳每千克 ($J\cdot kg^{-1}$)，专用单位名称为戈瑞 (Gy)。

（撰写：董柳灿　审订：潘自强）

Q

qianyi moshi

迁移模式　migration model; transport model　描述核素或其它物质在介质中运动规律的数学表达式。模式是真实系统各种过程和变化的代表。由于真实系统的复杂性，以及受对所涉及各种过程（如：水动力学、地球化学、物理—化学作用等）和变化了解程度的影响，模式往往不能完全再现真实系统的各个方面。在模式中，需将真实系统作适当的简化和压缩，以便于定量计算。迁移模式有确定论模式和概率论模式。通常，在迁移计算中，多使用确定论模式。对于确定论模式来说，包括流体运动模式和质量输运模式两大类。迁移模式有单一的，也有综合的。综合模式是由一些单个的子模式组成的。例如，对于废物处置来说，迁移模式可能包括的子模式有：浸出模式，在回填(或缓冲)材料中的迁移子模式，在结构材料中的迁移子模式，在岩土、大气和水体中的迁移子模式，以及在生物圈中的迁移子模式等。模式的衔接是综合模式需要考虑的一个重要问题。模式的组合取决于场所情况，也取决于特定用途。

（撰写：王志明　审订：钱天伟）

qian tongweisu fa

铅同位素法　lead isotope method　测量岩石中稳定铅同位素 ^{206}Pb、^{207}Pb 和 ^{208}Pb 的含量，计算它们与 ^{204}Pb 的比值，利用放射性成因铅同位素增高的信息寻找铀矿的方法。当有铀、

铀局部富集时，放射性成因的铅同位素含量明显增高，铅的同位素比值将出现异常。导致出现异常的铅称为异常铅；异常铅可用作铀的找矿标志。（撰写：蒋永一 审订：李家俊）

qianyan zhenbieqi

前沿甄别器 leading-edge discriminator 当输入信号的前沿增长到某一阈电平时就给出一个逻辑脉冲的定时甄别电路。前沿定时甄别的电路简单，但定时精度受信号幅度和上升时间变化的影响，所以采用这种定时方法时，信号幅度和上升时间只能在一定的范围内变化，且要求前沿斜率较大和噪声较小。（撰写：刘杰 审订：席德明）

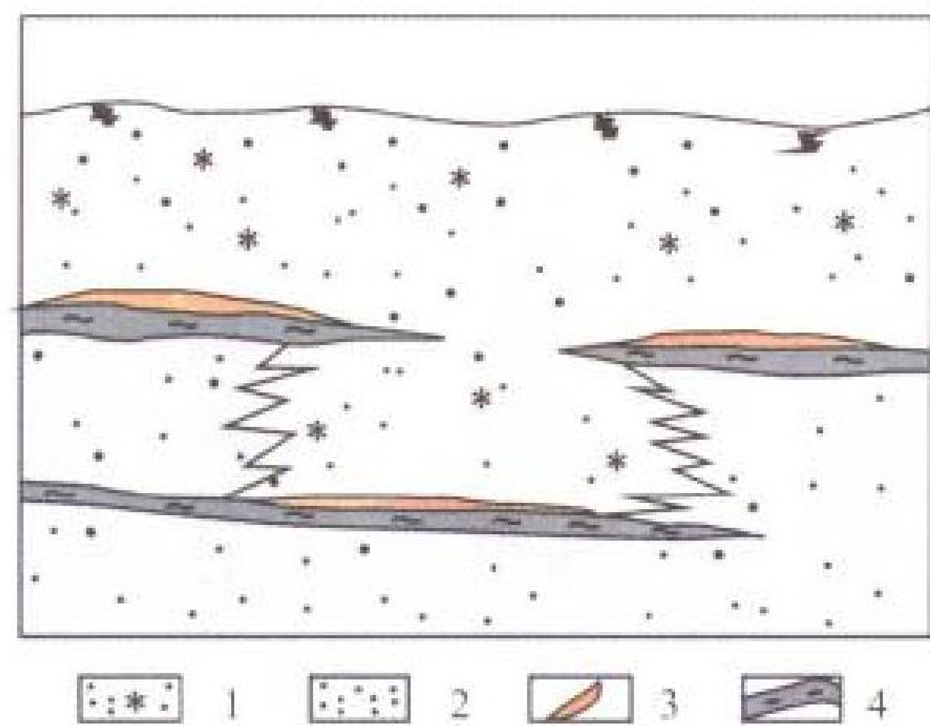
qianshui yanghuadai

潜水氧化带 preatic oxidation zone 发育于近地表，在具有自由的上水面，无或局部有隔水层覆盖的第一个含水层的自由水交替带中含氧水活动的部位，因而具有明显的垂向分带性。潜水氧化带的氧化作用及与其伴随的成矿作用均发生在自由水交替带，即在河网排泄的影响范围之内，并与地表有联系。在形成潜水氧化带的过程中同样会产生还原地球化学障，使得那些在还原环境下形成难溶化学物的变价元素（如铀）的水迁移可能性急剧降低，形成富集。由于潜水—渗入成矿过程的范围要小得多，且在空间上变化大，仅在少数情况下（如古河道）具有工业意义。

（撰写：胡绍康 审订：赵凤民）

qianshui yanghuadaixing shayan youkuangchuang

潜水氧化带型砂岩铀矿床 groundwater (phreatic) oxidation zone type sandstone uranium deposit 由含氧地下水垂直向下迁移并使含水砂岩层发生氧化的潜水氧化作用把水中铀迁移到隔水层顶板，并在此处由于水中自由氧耗尽而使其中所携的铀被还原而沉淀富集所形成的砂岩铀矿床（见图）。潜水氧化带特点是垂向分带，潜水与地表相通。潜水氧化带型砂岩铀矿床的规模较小，矿体的连续性较差。



潜水氧化带型砂岩铀矿床示意图

1—氧化砂岩；2—未氧化砂岩；3—铀矿体；4—不透水泥岩

（撰写：陈祖伊 审订：赵凤民）

qianting hedongli zhuangzhi

潜艇核动力装置 submarine nuclear power plant 利用核能作为潜艇推进动力的装置。与常规燃油动力装置相比，其特点为：(1) 功率大，航速高。由于核燃料装载量很小，节省下来的燃料吨位用来提高潜艇的有效装载量，可在有限空间内大大提高动力装置的功率和艇的航速，达到 25～35 kn，甚至更高；(2) 续航能力大。能长期远离基地航行而无须添加燃料；续航力可达到20万海里以上，甚至做到一次装料与艇同寿命；(3) 隐蔽性较好。不像常规动力燃料那样需要氧气助燃，因而能长期潜航水下，无须上浮，不易被敌人发现，常可出其不意进行攻击。潜艇应用了核动力可极大地提高它的机动性、隐蔽性和作战半径。目前各国所用的动力堆型主要为压水堆，其工作原理与陆上压水堆相同（参见压水堆核动力装置），只是为满足潜艇对体积小、重量轻和抗冲击能力强等要求，二回路热力系统大为简化。动力装置的布置形式有分散布置、紧凑布置和一体化布置三种，其区别如图1、图2和图3所示。其中一体化布置完全消除了管道破损事故的可能，体积最小，重量最轻，自然循环能力最强。

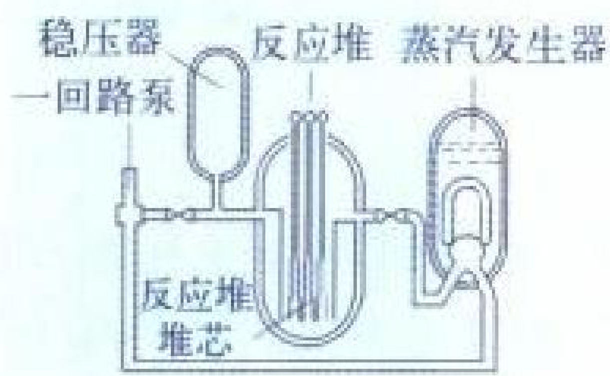


图1 分散布置压水堆示意图

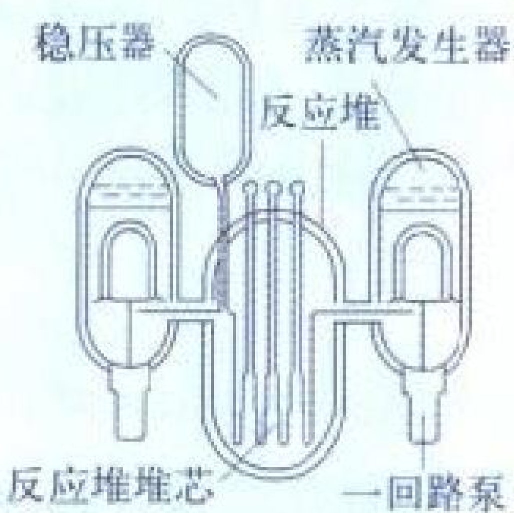


图2 紧凑布置压水堆示意图

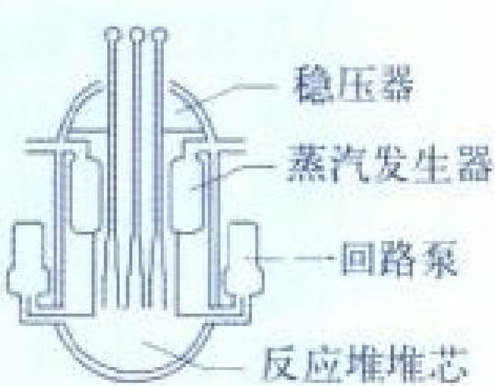


图3 一体化压水堆示意图

（撰写：赵仁恺）

qianting hedongli zhuangzhi lushang moshidui

潜艇核动力装置陆上模式堆 land-based prototype of submarine nuclear power plant 按准备建造的核潜艇动力舱的尺寸和布置方式在陆地上建造的一座与潜艇核动力装置完全一样或基本一样的核动力装置，简称陆上模式堆。它与潜艇核动力装置的主要区别是耗功设备不同。对新型潜艇核动力装置，在装艇实用之前，通常先建一座陆上模式堆，以验证和考核核动力装置的安全性和可靠性，进一步掌握各种工况下的控制调节等使用性能。此外，还可利用它培训潜艇核动力装置的运行和维护人员。许多国家在发展潜艇核动力过程中都建造了陆上模式堆。（撰写：于俊崇 审订：孙玉发）

qianting hedongli zhuangzhi tuiyi

潜艇核动力装置退役 decommissioning of submarine nuclear power plant 潜艇核动力装置从最终停止运行至完成去污、拆除放射性部件、处理放射性废物的全部活动。最终目标是去除放射性物质和其他具有危害的材料，使其对人类健康和环境不再构成危害。为达到这一目标，一般做法是先安全封存，过一定时间后去除放射性污染和拆除带有放射性物质的部件，使核潜艇达到解除控制的水平；或在最终停止运行后不久即进行去污与拆除放射性部件，使核潜艇达到解除控制的水平。（撰写：姚崇法 审订：孙荣绵）

qianting hedongli zhuangzhi ziranxunhuan nengli

潜艇核动力装置自然循环能力 natural-circulation capacity of submarine nuclear power plant 反应堆冷却剂在一回路中处于自然循环工况下潜艇核动力装置能输出的功率，通常以额定输出功率的百分数表示。平时潜艇核动力装置冷却剂在强迫循环工况下运行，此时功率输出大，机动性也好，但是主泵运行的噪声很大，不利于潜艇隐蔽。为此在某些情况下希望潜艇核动力装置能在一回路自然循环工况下运行，此

时的输出功率足以提供一定的推进动力。潜艇核动力装置自然循环能力是核潜艇先进性的一个重要指标。

（撰写：柴长岭　审订：孙荣绵）

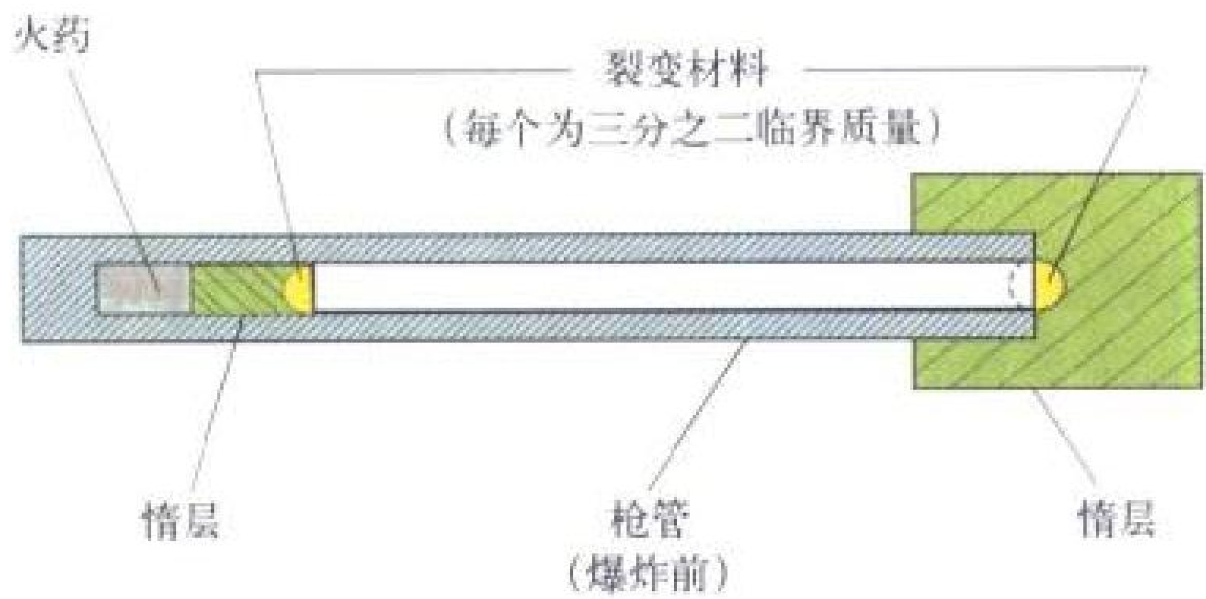
qianzai zhaoshe

潜在照射　potential exposure　预期不一定受到、但可能遭受到的照射。它可能由源的事故，或由具有某种或然性质的事件或事件序列（包括设备故障和操作错误）引起。换言之，潜在照射是一种有一定的发生概率而又不一定发生的照射。通常它的发生概率和后果的严重程度以及剂量大小，可以在一定程度上加以控制。在潜在照射发生前的阶段，它是作为实践的防护体系来处理，一旦发生通常要导致干预，则按干预的防护体系来处理。潜在照射的主要对策是预防和缓减，即采取减少发生的概率和降低剂量大小或减小危害严重程度的措施。采用经过考验的技术或符合先进技术标准的单元和设计，加上高水平的维修就可以使设备故障率降低，而任用受过培训并能遵重规程的操作人员又可使人为失误大大降低。为了达到高度安全，多采用纵深防御（defence in depth），即设置多重可靠屏障的办法，使单个故障或误操作不致导致严重后果。由于低概率照射可能会超过低剂量低剂量率范围，因而不能施用剂量剂量率修正因子 DDREF，或者超过确定性效应阈值，甚至出现放射病，因而不能运用辐射权重因子 W_R，则有效剂量不能反映危害，所以剂量限值不适用于潜在照射。为了控制潜在照射危害，需规定一危险限值。

（撰写：张延生　审订：马吉增）

qiangfa yuanzidan

枪法原子弹　gun-type atomic bomb　又称压拢型原子弹。用火药（或炸药）爆炸产生的强驱动力，把两块或几块处于次临界状态的裂变装料快速合拢在一起，通过增大体积的办法使裂变系统由次临界态过渡到超临界态，适时放出点火中子引发链式裂变反应形成爆炸的一种原子弹（见图）。枪法原子弹的优点是技术简单，直径可做得较小。缺点是由于核材料未加压缩，裂变装料的用量大，利用率低；拼合时间长达几毫秒，过早点火问题严重。美国 1945 年 8 月 6 日投在日本广岛的代号为“小男孩”的原子弹就是枪法原子弹。



枪法原子弹原理图

图出处：http://www.fas.org/nuke/intro/nuke/design.htm

（撰写：郑绍唐　审订：徐迺新）

qiangjiguangchang wuli

强激光场物理　strong laser field physics　研究强激光场中的物理的科学。目前超短超强激光功率密度已达 10^{19}～10^{20} W·cm^{-2}。其电场强度大大高于氢原子玻尔轨道处的电场强度。在这样的光场中，原子会发生多光子电离、阈上电离、高次谐波的发射与高频下随场强增加的原子稳定化现象。超强激光通过等离子体时会因相对论效应与有质动力效应而聚焦成丝。它与等离子体相互作用的基本过程强烈依赖于激光强度与脉冲波形，吸收机制也将发生根本的变化。对极强的激光，由于相对论效应，稠密等离子体将重新变成透明。此外，在强激光的有质动力势场中，电子能量可达百万电子伏量级，并产生万特斯拉（T）量级缓变磁场。高能电子及其产生的高能光子能引发核反应过程。在超强激光和氘团簇相互作用中还观测到了中子。

（撰写：陈式刚　审订：常铁强）

qiang liuguan

强流管　intense current GM-counter　一种特制的卤素计数管（见图），在辐射的作用下产生的平均电流可作为剂量率的量度。放电电流与剂量率的对数大致成直线关系，在剂量率为 5 cGy/h 的 γ 辐射场中可产生高达 50 μA 的电流，量程为 0～50 μA 的普通电表可用于此种电流测量。强流管作为剂量率仪使用时，常用冕状放电稳压管来获得稳定的工作电压。强流管与普通卤素计数管在几何结构上的区别在于阴极半径小，甚至小到 0.5 mm，阴极与阳极半径比约为 1/3～1/40 之间，改变电极的有效面积可制成不同量程的计数管。强流管的放电特性在很大程度上决定于外部电路的电阻和电容。

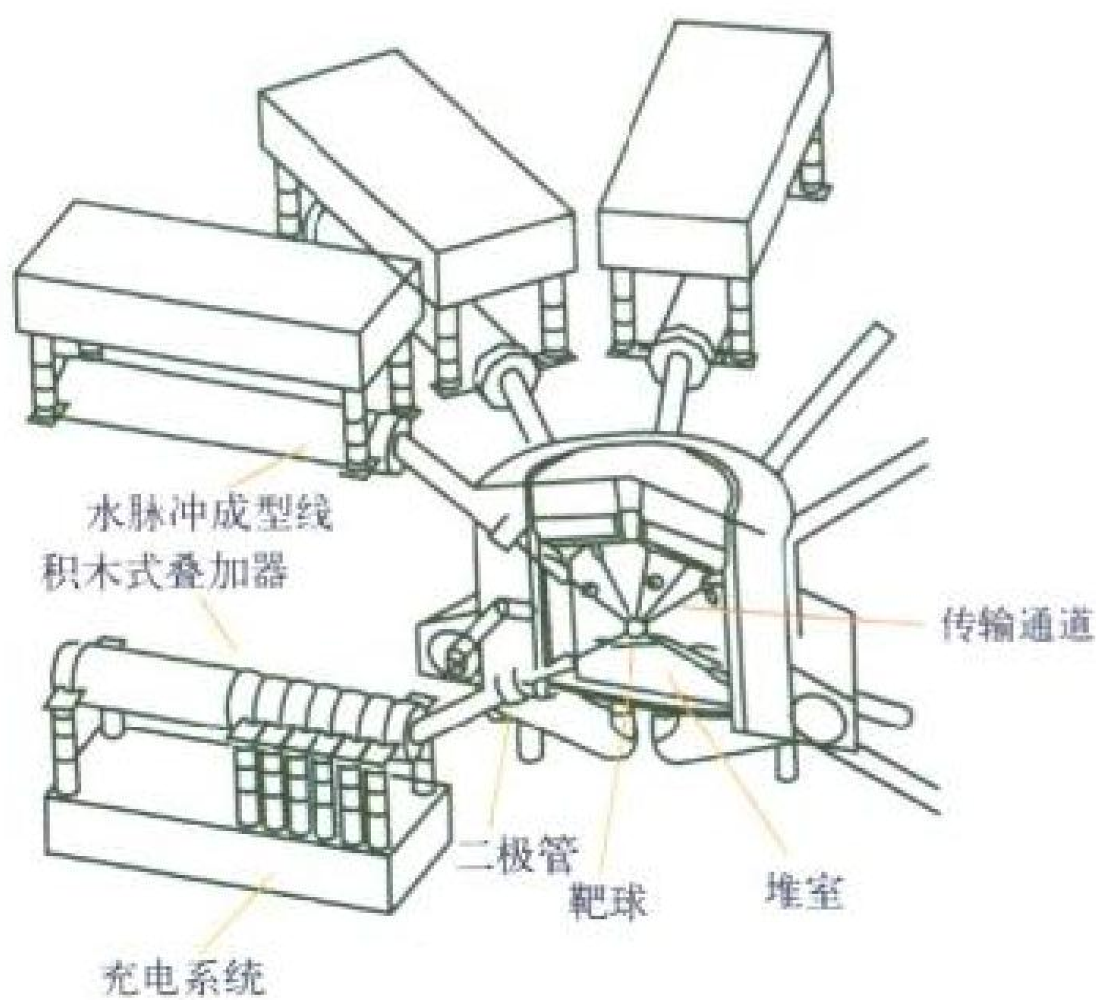


强流管示意图

（撰写：陈常茂　审订：彭华寿）

qiangliu qinglizishu qudongqi

强流轻离子束驱动器　intense light-ion beam driver　惯性约束聚变中用高强度轻离子束打靶实现聚变反应的驱动源。它是惯性约束聚变正在发展的有效、低价的驱动器。如图所示，它由充电系统、水脉冲成型线、积木式叠加器、高功率离子二极管、传输通道、靶球和堆室等主要部件组成。20 世纪 80 年代以来，美国圣地亚实验室陆续设计和建造 36 路的质子束聚变加速器 PBFA Ⅰ和 PBFA Ⅱ。1990 年在 PBFA Ⅱ上发展了电能有效转换成离子束的技术，研究离子束聚焦限制的原因并改进聚焦性能，使质子束达到大于 5 TW · cm^{-2}，并发展了非质子（锂离子）离子源。

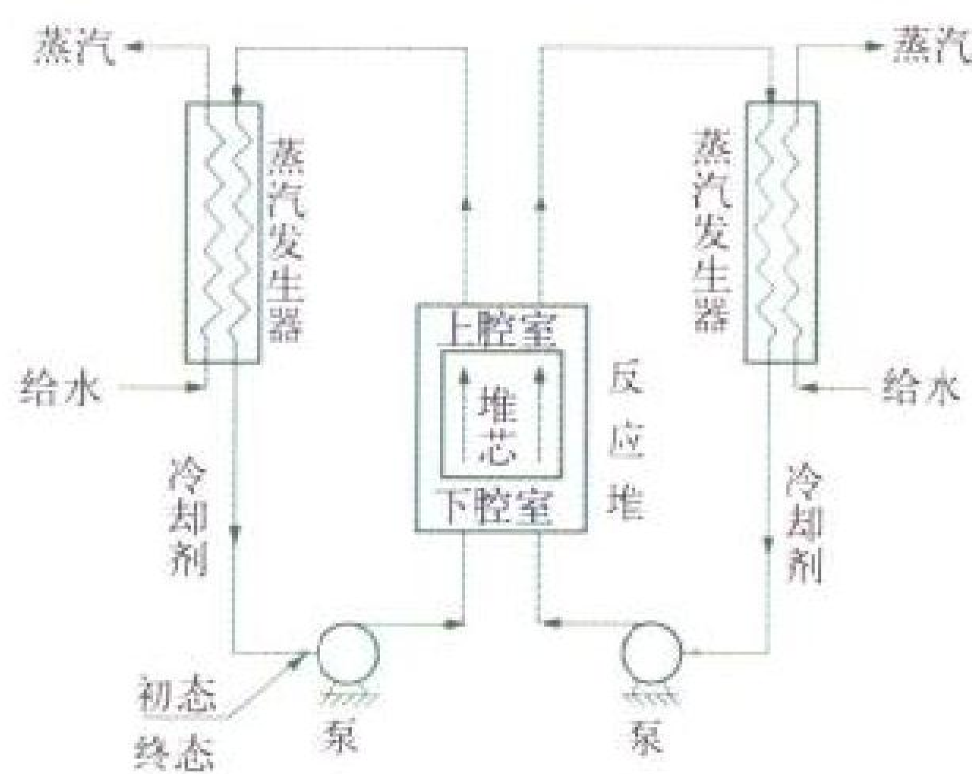


锂离子束聚变加速器 LIBFA

（撰写：冯奇　审订：单玉生）

qiangpo xunhuan

强迫循环 forced circulation 依靠泵或风机的外力迫使工质在回路内循环流动的过程。如图所示为压水堆冷却剂强迫循环，泵把进口冷却剂打入堆芯，载带出堆芯释热，流经蒸汽发生器把热量传给二次侧产生蒸汽，失去热量的冷却剂又流回到泵进口处，完成了一个循环。



压水堆冷却剂强迫循环示意图

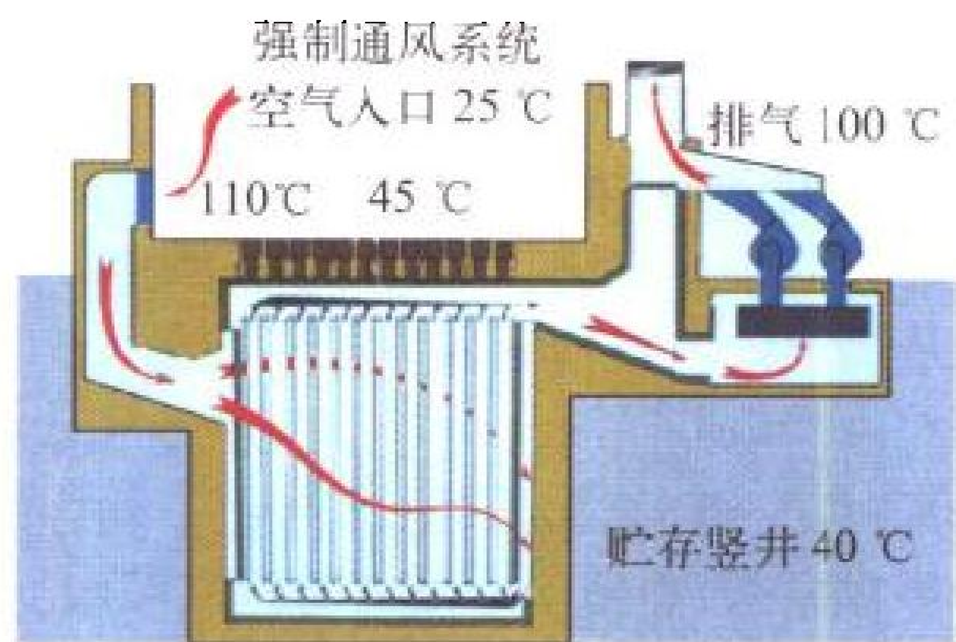
（撰写：郝老迷　审订：陈玉宙）

qiang xianghu zuoyong

强相互作用 strong interaction 见基本相互作用。

qiangzhi tongfeng lengque

强制通风冷却 cooling by forced ventilation 又称强制循环空气冷却。借助强制通风装置（如吹风机、排风机）形成气流对自释热的高放固体废物或乏燃料进行冷却（见图）。强制通风冷却主要应用于乏燃料、高放固体废物的贮存设施和循环冷却水的冷却装置。强制通风冷却的气流速度高、冷却效率高，但因需要强制通风系统，故能耗多、建设投资和运行费用较高。循环冷却水采用强制通风冷却的优点是可以大大减少冷却水的耗量，对节约水资源是十分有意义的。



高放玻璃固化体贮存库强制通风冷却图

图出处：Details of the cooling air outlet and chimney Dry storage system.CASCAD. Cadarache. France

（撰写：孙东辉　审订：王显德）

qiangzhongziyuan yu X shexianyuan

强中子源与X射线源 sources for intense neutron and X-ray 高能强流脉冲中子束和强脉冲X射线束。氘氘或氘氚聚变反应产生能量分别为2.45 MeV或14.1 MeV的单能脉冲中子，是一种等离子体中子源，其能谱宽度和等离子体温度有关。目前实验室激光聚变可得到的最大单脉冲中子数为10^{14}，预期未来的点火装置NIF可在约100 ps的单脉冲中能产生约10^{18}个中子。高强度的聚焦激光束加热靶物质是一种高亮度的等离子体X射线源。其能谱取决于靶物质和激光参数，从几千电子伏到百千电子伏，是一种宽带准连续谱源，光谱亮度与同步辐射源相当。

（撰写：彭惠民　审订：常铁强）

qiangzi

强子 hadron 可以发生强相互作用的粒子。强子又可以分为两类：重子和介子。重子是自旋为半整数的费密子，服从费密—狄拉克统计。介子自旋为整数，是服从玻色—爱因斯坦统计的玻色子。按照目前的认识，强子是由夸克在胶子场的作用下结合而成的。（撰写：班 勇　审订：叶沿林）

qieduan jinqu

切断—浸取 chop-leaching 乏燃料后处理首端的一种工艺过程。它是将除去端头的乏燃料组件剪切成两端裸露出燃料芯块的短棒，落入预先装有硝酸溶液的溶解器中，一边剪切一边浸取包壳中芯块，当乏燃料短棒已够一批溶解量时，停止剪切进料，继续浸取溶解芯块，并留下未被溶解的包壳。

（撰写：林懋贞　审订：郑华铃）

qielunkefu tanceqi

切伦科夫探测器 Cerenkov detector 一种测量在介质中速度大于光速的带电粒子的辐射探测器。它由能产生切伦科夫效应的辐射体与光敏器件（光电倍增管）相耦合组成。辐射体为透明的固体（一般为有机玻璃）、液体（多用蒸馏水）或气体。它应用于高能带电粒子的测量，如用于宇宙线、高能加速器粒子等的测量，在应用中根据不同的实验目的，做成不同类型的探测器，用以测量带电粒子的能量、强度或给出控制信号等。用体积大、阻止本领高的辐射体做成的探测器，可用作γ射线的全能吸收谱仪，还可用于一定速度范围粒子的选择。由于切伦科夫辐射的持续时间很短（≤ 1 ns），它还可以用于快符合和不稳定粒子寿命的测量。切伦科夫探测器具有结构简单、制作工艺较易的优点；其缺点是辐射强度太弱，需采用高灵敏、低噪声的光电倍增管、好的光收集系统以及消除本底的反符合装置等措施。

（撰写：彭华寿　审订：孙汉城）

qinruyan youkuangchuang

侵入岩铀矿床 intrusive uranium deposit 产于侵入岩浆岩岩石中，主要铀矿物为浸染状原生晶质铀矿、铀方钍石和铀钍石，侵入岩体的某一部分即是矿化体的铀矿床。矿床属岩浆成因。这类矿床又分为若干亚类，其中的白岗岩型有较重要的工业价值。（撰写：陈祖伊　审订：赵凤民）

qinshui cuihuaji

亲水催化剂 hydrophilic catalyst 在氢（或氘）与氚水间进行高温（200 ℃）同位素气相催化交换（VPCE）反应所使用的催化剂。亲水催化剂多为固体催化剂，主要有铂／活性炭、镍／Cr_2O_3、骨架镍和铂／Al_2O_3等。这些催化剂不憎水，遇水便吸入其毛细孔中，使催化剂丧失活性，即所谓“遇水中毒”，因此只限于气相中使用。当温度降到140 ℃以下，也会因水气在毛细孔中凝结而中毒。加拿大达林顿的重水提氚工厂（TRF）、法国和马尔库尔产氚堆的重水除氚装置均采用VPCE流程，使用亲水催化剂铂／Al_2O_3，它是一种负载型催化剂，由比表面积较高的Al_2O_3颗粒（惰性载体）载带活性金属铂制成。工艺中催化床温度维持在200 ℃，压力略高于大气压，含氚重水蒸气通过催化剂床发生同位素气相交换反应。在交换反应中，催化剂不会发生水中毒问题。

（撰写：韩廷德　审订：卢浩琳）

Qinshan yiqi hedianchang

秦山一期核电厂 Qinshan 1st stage nuclear power plant 我国第一座原型核电厂。这座位于浙江海盐县的核电厂完全以我国科技、工业力量设计和建造完成，装机容量 300 MW，采用两环路动力装置。一回路冷却剂压力为 15.2 MPa，平均温度为 302℃，额定流量为 24000 t/h，反应堆热功率为 1000 MW。二回路系统汽轮机采用单轴、三缸、四排汽的 3000 r/min 饱和蒸汽轮机。发电机采用双水内冷无刷励磁三相交流发电机。蒸汽流量为 1800～2000 t/h，压力为 5.2～5.6 MPa，可以产生 310～330 MW 电功率。核电厂的设计寿命为 30 年。设计时在国内各单位进行了物理、热工、水力、自动控制、电气、腐蚀、结构力学、焊接工艺、无损探伤等 380 项科研试验，建造了 15 座试验台架，完成了若干设备制造厂的技术改造，研制成功燃料组件、控制棒组件、控制棒驱动机构、堆内构件、装卸料机、蒸汽发生器、稳压器、汽轮发电机组、应急柴油发电机组、核级水泵、阀门等重要设备。设备国产化比例达到 70 %。核电厂于 1985 年 3 月浇灌第一罐混凝土，1991 年 12 月 15 日并网发电，结束了我国大陆无核电的历史。核电厂自投产以来，运行业绩良好，经过 3 年的高功率运行，平均负荷因子达到 70 %，至 2000 年年底累计发电量已达 140 多亿千瓦时。核电厂的安全设施和三废处理系统完善。运行 8 年来，通过环保部门监测的结果表明，各项指标均低于国家规定限值，满足辐射防护和环境保护的要求，证明核电厂职工和周围居民的健康是有充分保证的。

（撰写：杜圣华　审订：连培生）

qinwu baoxian

勤务保险 service safety 见核武器安全性。

qinglizishu guanxing yueshu jubian

轻离子束惯性约束聚变 inertial confinement fusion driven by light ion beam 利用轻离子束驱动器产生的强流质子或锂离子束辐照含有 D-T 燃料的靶丸并引发靶丸内爆、点火、燃烧释放聚变核能。靶丸点火需要聚焦功率密度大于 100 TW/cm^2 和 1 MJ 左右能量，比功率沉积为 6200 TW/g，用锂离子，相应要求 30 MV 电压和 4 MA 离子束流。美国圣地亚实验室 PBFA- Ⅱ 是为此而建立的超高功率轻离子束加速器。由于离子束流大，产生的集体不稳定性引起散焦，质子束聚焦功率密度仅达 5 TW · cm^{-2}，Li 离子束仅达 2.5 TW · cm^{-2}，但 30 MV Li 离子的比功率沉积已达到 1400 TW/g，是点火要求的 1/5。在 5 TW/cm^2 质子束功率密度下，对热源靶和内爆推进靶进行了打靶实验，前者主要研究离子能量沉积物理，后者主要研究内爆动力学。面临的主要技术关键是进一步提高离子束聚焦强度，降低束散角。　（撰写：单玉生　审订：杨大为）

qingshuidui ranliao zujian

轻水堆燃料组件 LWR fuel assembly 用于轻水堆（压水堆和沸水堆）的燃料组件（参见燃料组件）。压水堆燃料组件是无盒，由燃料棒、格架、控制棒导向管、上下管座、滤网等部件组成，并具有足够刚度的整体组合构件。组件内的燃料棒通常为 14 × 14，16 × 16 或 15 × 15，17 × 17 排列（见图 1）。构成组件骨架的控制棒导向管由不锈钢制成。近年来，为降低中子的体生吸收，大多改用锆导向管。同时，由因科镍合金制成的定位格架也改由锆合金制造，成为“全锆”组件。沸水堆燃料组件有盒（锆 -4 合金）。组件内的燃料棒排列为 7 × 7，或 8 × 8（见图 2）。棒与棒之间的间距由格架保证。组

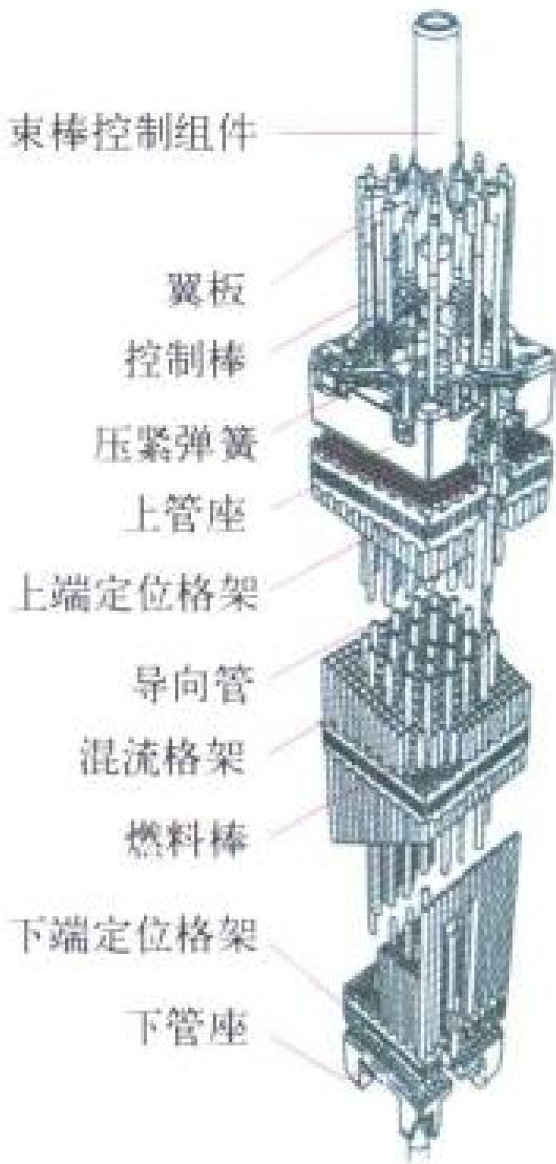


图 1 PWR 燃料组件

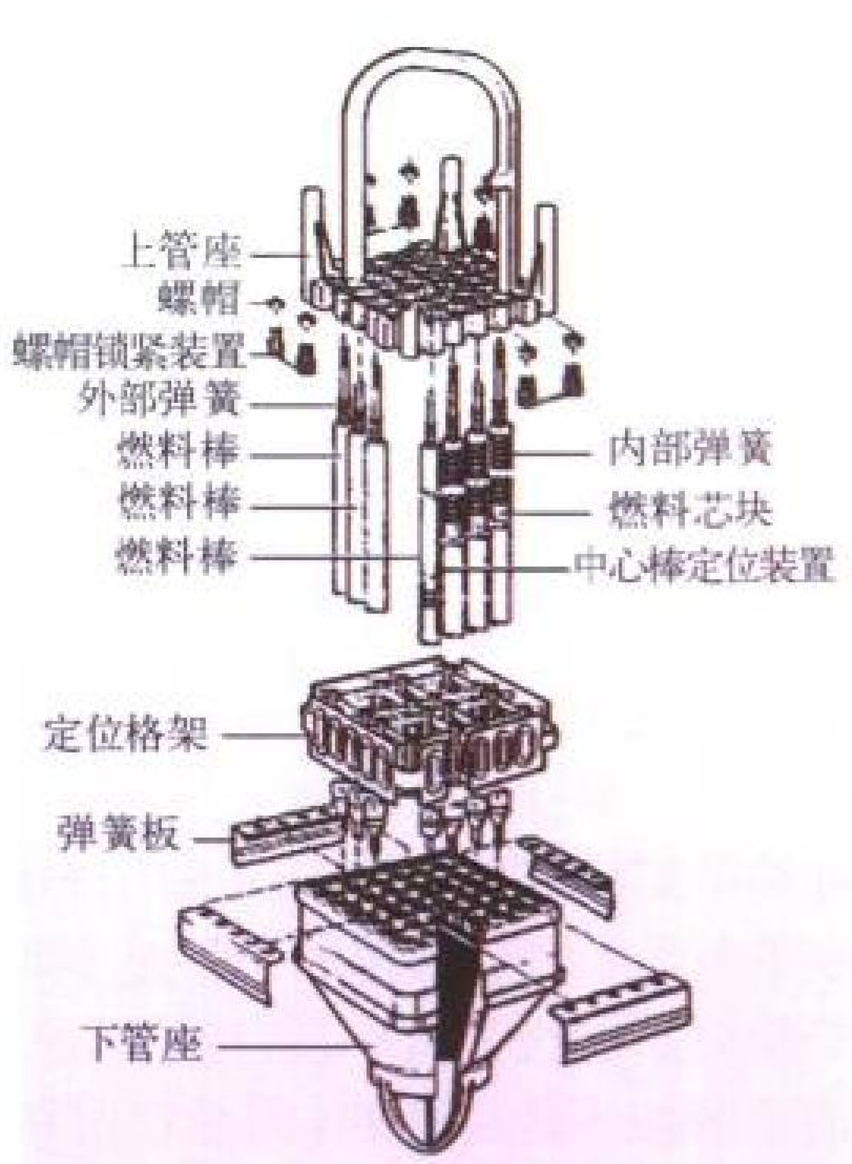


图 2 BWR 燃料组件

件中燃料棒的 ^{235}U 富集度不同，边区富集度较低，中央区富集度较高。在高燃耗情况下，若干根燃料棒含有中子吸收材料 Gd_2O_3，以求功率分布均匀。组件中有一、两根棒不含燃料，允许冷却剂通过，称为“水棒”，目的在于使慢化剂分布合理。也有个别元件制造厂不用“水棒”而用实心的锆合金棒。目前，轻水堆燃料组件的设计仍在不断改进，以求达到更好的运行可靠性、更节约中子、更高的燃耗和更长的换料周期。

（撰写：张忠岳　审订：黄玉才）

qingzi

轻子 lepton 一类基本粒子。目前认为它们没有内部结构，与夸克家族属于同一层次，可以用点粒子的模型来描述。轻子可参与电磁、弱、引力相互作用；但不参与强相互作用。目前已知的轻子有 6 种，除 3 种带电轻子（电子、μ 子、τ 子）及反粒子外，与每种带电轻子对应的还各有一种中性轻子，称为中微子。下表列出了各种轻子的性质。轻子是自旋为 1/2 的费米子，其尺寸小于 10^{-18} m。对中微子质量的所有测量均未能定出其确定值，它们可能不为零。电子是稳定粒子。μ 子和 τ 子可衰变成其他粒子。电子和电中微子具有不为 0 的电轻子数，μ 子和 μ 中微子具有不为 0 的 μ 轻子数，τ 子和 τ 中微子具有不为 0 的 τ 轻子数，这 3 种轻子数是各自守恒的。

轻子的性质

带电轻子	电子($e^{\pm}$)	μ 子($\mu^{\pm}$)	τ 子($\tau^{\pm}$)
发现年代	19 世纪 90 年代	20 世纪 30 年代	1974～1975
带电轻子质量 /MeV	0.51	105.7	约 1777
带电轻子寿命 /s	稳定	2.2×10^{-6}	2.9×10^{-13}
对应的中微子	$\nu_e, \bar{\nu}_e$	$\nu_\mu, \bar{\nu}_\mu$	$\nu_\tau, \bar{\nu}_\tau$

（撰写：班　勇　审订：叶沿林）

qingchuji

清除剂 scavenger 借助沉淀的吸附或共沉淀作用将一种或几种放射性核素的大部分从溶液中除去的物质。清除剂又称

清扫剂，通常是疏松的沉淀物，具有较大的吸附表面，在放化分离中能有效吸附多种处于微量状态的放射性杂质，而对待分离核素不吸附。在碱性溶液中经常使用的清除剂是铁和镧的氢氧化物，酸性介质中为铜、锑、铋的硫化物。例如从裂变产物中分离 ^{99}Mo时，在碱性溶液中用氢氧化铁作清除剂能有效去除属于Ⅲ，Ⅳ，Ⅴ及Ⅷ族的放射性核素，而 ^{99}Mo 以钼酸根阴离子形式存在于溶液中不被清除剂吸附。

（撰写：郭景儒　审订：崔安智）

qingjie jiekong

清洁解控　clearance　在某项实践中产生的放射性污染物件或材料，本身或经适当去污后其放射性浓度或活度很低、对环境的影响很小，按审管部门规定的条件和手续可以解除控制的行为。清洁解控的条件是不加管制后对环境和公众产生的辐射影响极其微小。解控是从原有的控制范畴中解脱出来，清洁解控不是自动的，需经申报和批准。审管部门批准后，此类物料或材料就不再受辐射环境管理的制约，可以开放使用。被解控的极低放废物可以按照工业废物进行管理。在一些特殊情况下，审管部门在批准清洁解控时，也可附加一些限制条件，如对核设施的气、液流出物的排放，规定控制总量，限制浓度，需在监控下排放等。清洁解控的标准由审管部门依据辐射防护最优化原则制定。

（撰写：赵亚民　吴德强　审订：罗上庚　华　旦）

qingwu

清污　clean up　对放射性污染的水体、土壤、设备、器件进行去污，使之达到有限制或无限制开放使用的活动。清污实际上是放射性废物清理、分类、运输和处置的过程。在清理和去污中要遵守放射性废物的管理原则，要实行废物最少化、防止简单地废物转移，在清污中产生的放射性废物一定要妥善处置。清污是辐射环境管理的一项重要措施，对遗留污染问题的清污，首先对方案要进行充分论证，要摸清放射性污染源项，评价清污方法的效果与代价，还要考虑清污中产生放射性废物的去处。然后方可批准实施。因为清污属于环境整治行为，清污后要有检查和验收。对于现有的核设施和项目，在运行期间要及时处理废物问题，避免留下今后需要花较大代价去进行清污的问题。在清污中要执行残余放射性标准，还要考虑环境的长期安全性。

（撰写：赵亚民　审订：潘自强）

Q

qingdan

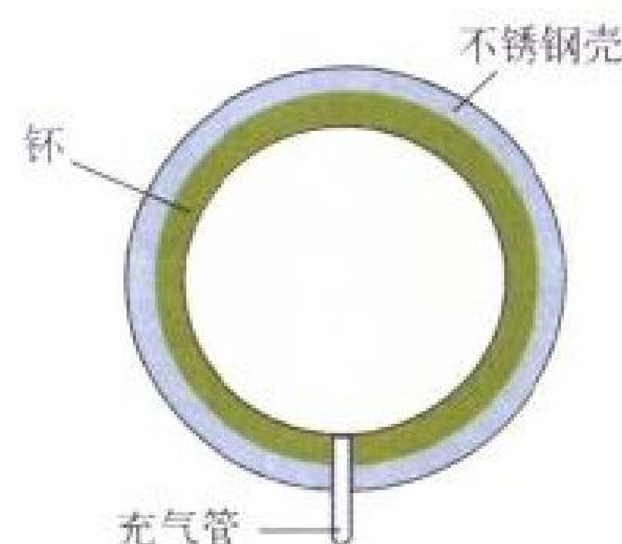
氢弹　hydrogen bomb　热核武器的通称。参见热核武器。

qingdan chuji

氢弹初级　primary of hydrogen bomb　又称扳机。氢弹中用于引发次级热核反应的纯裂变或助爆裂变的放能部件。氢弹初级的动作原理与原子弹相同，但在结构上要考虑如何有利于把它所释放的能量输送到次级（或多级氢弹的第二级）中去。由于助爆型裂变装置的优越性，在小型化氢弹中都用助爆裂变型初级。初级释放的能量绝大部分是裂变能。为了设计出纯聚变氢弹，核武器专家曾经为设计纯聚变初级作过很大努力，但并未成功。　（撰写：郑绍唐　审订：徐逦新）

qingdan chuji hebujian

［氢弹初级］核部件　nuclear pits [in the primary of hydrogen bomb]　美国人对氢弹初级中裂变材料与其覆盖层组成的部件的习惯称呼。



氢弹初级中核部件（pit）截面图

图出处：Hileman B. U.S.and Russia face urgent decisions on weapons plutonium. C&EN, June 13, 1994

（撰写：郑绍唐　审订：徐逦新）

qingdan ciji

氢弹次级　secondary of hydrogen bomb　与初级分开放置的、含聚变材料（一般也含易裂变材料）的两级氢弹的主要放能部件。一般由推进层和（或）惰层，聚变燃料，和裂变芯组成。通过改变氢弹次级的设计，可以增强或削弱其某种毁伤效应制成特殊性能核武器。也只有特殊设计的氢弹次级，才能满足核爆驱动定向能武器对驱动源的要求。在多级氢弹中，除次级外还有第三级等，次级起爆后又为引爆第三级提供能量，如此等等。多级氢弹的主要放能部分在最后一级。

（撰写：郑绍唐　审订：徐逦新）

qingdan ciji tuijinceng

氢弹次级推进层　pusher in the secondary of hydrogen bomb　包在氢弹次级聚变燃料外面的重物质层。推进层在辐射内爆过程中产生聚心压力使聚变燃料压紧，在聚变燃料发生自持热核反应后它又起箍束作用延缓聚变燃料飞散、延长聚变反应时间，同时又阻挡聚变燃料燃烧过程中辐射的漏失。因此推进层兼有惰层和挡辐射层的作用。在三相弹中这一层用天然铀或富集铀制成，由于聚变中子能使 ^{238}U 原子核裂变，因此这一层又能通过聚变—裂变耦合大大提高武器的威力。

（撰写：郑绍唐　审订：徐逦新）

qingdan fushe pingbiqiao

氢弹辐射屏蔽壳　radiation case of hydrogen bomb　包在氢弹初级与次级外围的、用热辐射穿不透的重材料（如天然铀、铅等）制作的外壳。其作用是把初级放出的热辐射包围在里面，并使其高效传输、均匀分布于次级周围。

（撰写：郑绍唐　审订：徐逦新）

qingdan fushe tongdao

氢弹辐射通道　radiation channel in hydrogen bomb　氢弹中初级向次级传输辐射能量的通道。

（撰写：郑绍唐　审订：徐逦新）

qingdan gouxing

氢弹构型　configuration of hydrogen bomb　氢弹中各种材料的配置、形状和尺寸。原理、材料和构型是氢弹设计的三要素。1951 年 3 月 9 日 E.特勒（Edward Teller）和 S.乌拉姆（Stanislaw Ulam）共同提出了分级、辐射驱动内爆压缩的氢弹构型，称特勒—乌拉姆构型。1952 年 11 月 1 日美国进行了世界上第一次两级氢弹原理试验——迈克（Mike）试

验，解决了氢弹物理设计的原理与构型问题，但这次试验所用的热核燃料是液氘，使得试验装置有两层楼高，重达60多吨，无法成为武器。直到1954年3月1日进行的"强盗"试验才用氘化锂为聚变材料，正确解决了氢弹的材料问题。我国在1965年10～11月间独立提出了从原理到构型基本完整的氢弹设计物理方案。1966年12月28日进行了氢弹原理试验，从氢弹设计的三要素来分析，这次试验装置的原理、材料与构型都是正确的。

（撰写：郑绍唐　审订：竺家亨）

qingfuhua

氢氟化　hydrofluorination　固态 UO_2 与气态无水HF在高温(400～700℃)下反应生成 UF_4 的工艺过程。反应式为



$$UO_2(固) + 4HF(气) \rightleftharpoons UF_4(固) + 2H_2O(气)$$

本反应是干法生产 UF_4 传统工艺的基础。ThF_4 与 PuF_4 也有类似的反应过程。反应平衡是温度和气相中HF分压的函数，提高温度和HF分压，对氢氟化反应有利。本反应属非催化型气固多相反应过程。提高温度，在不发生 UF_4 严重烧结的情况下，也将加速反应。UO_2 的反应活性对氢氟化反应速率有相当大的影响。氢氟化反应的主体设备有卧式搅拌床、移动床和流化床三种类型。早期应用卧式搅拌床，现在获得最广泛应用的是流化床氢氟化。反应器材料应采用高温下耐HF腐蚀的镍基合金，反应器系统应保持良好的密封性。用氢氟酸从四价铀的硫酸或盐酸水溶液中沉淀出 UF_4 水合物的反应过程则称为氢氟化沉淀。（撰写：崔秉懿　审订：朱永赌）

qingfuhua chendian

氢氟化沉淀　hydrofluorination precipitation　四价铀溶液与氢氟酸作用生成 UF_4 沉淀的湿法工艺过程。氢氟化沉淀工艺过程包括三个主要步骤：(1)酸性溶液中六价铀的还原，即通过加入还原剂或电解还原的方法，使溶液中的六价铀还原成四价。其中电解还原法最为优越，该法不必添加化学试剂，可避免 UF_4 沉淀被其他离子所污染；(2) UF_4 沉淀。还原得到的四价铀溶液与一定浓度的氢氟酸反应沉淀出 UF_4，在95～100℃下，得到的是 $UF_4 \cdot 0.75\ H_2O$。这种水合物呈暗绿色，纯度高，很稳定并且易于过滤洗涤；(3) UF_4 水合物的干燥、脱水。$UF_4 \cdot 0.75\ H_2O$ 水合物可在110℃的空气中干燥。结晶水的脱除需加热到400℃以上，在真空或氮气、干燥的氟化氢气氛下进行。（撰写：赵锡熊　审订：许根福）

qinghuali

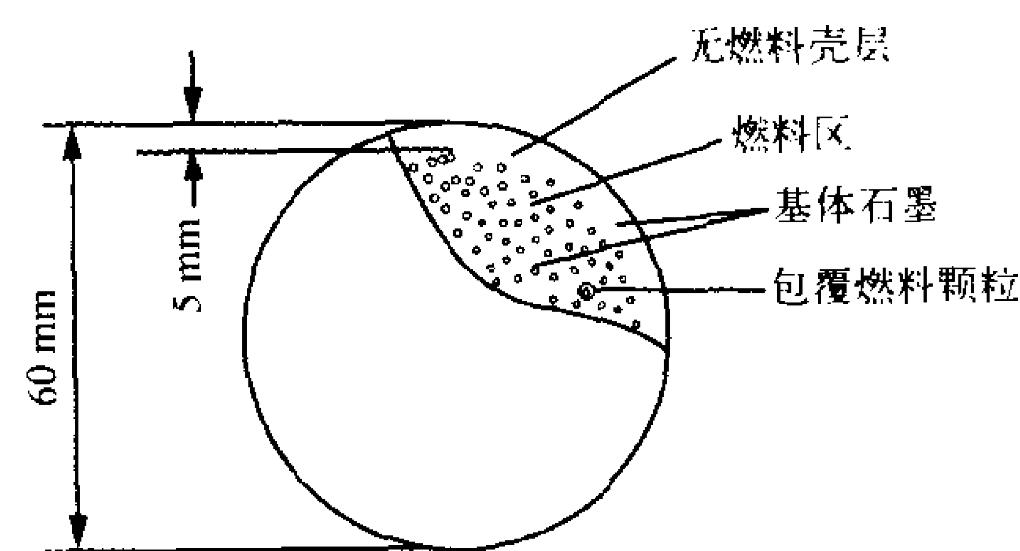
氢化锂　lithium hydride　分子式为LiH。纯LiH呈白色，在阳光或紫外线作用下部分分解，析出呈胶体分散状态的金属锂，其颜色先呈玫瑰色，后变为天蓝色。LiH具有面心立方晶体结构，晶格常数 a=0.40834 nm，密度0.77 g/cm³(室温)，生成热(ΔH_{298})为－90.63 kJ/mol。在碱金属和碱土金属氢化物之中，LiH是最稳定的。在隔绝空气的情况下，LiH在680～697℃时熔融，在更高温度下则剧烈分解为Li和 H_2，在850℃下，其分解压可达101325 Pa。LiH的化学活性较高。它与水反应剧烈，在潮湿空气中，粉状LiH可自动着火，而块状的则在其表面形成一层明显的失泽膜，能阻止其进一步的反应。与水汽反应时，除放出氢外，视水汽浓度的不同可生成 Li_2O（在湿度极低时）、LiOH（湿度约10％时）或是一水氢氧化锂（湿度高于15%时）。加热时，LiH与 N_2 反应生成 Li_3N 和 NH_3。LiH与 O_2 在炽热温度下才能反应；与干燥的氯反应剧烈，生成LiCl；在高温下与 SiO_2 反应生成棕色的硅酸锂(Li_2SiO_3)和硅化锂(Li_xSi)，故可对玻璃、石英或陶瓷产生腐蚀作用。汞、锡、铅等低熔点金属均可在高于它们的熔点温度下，与LiH反应而放出 H_2。LiH还可与许多金属卤化物发生反应。LiH可由纯 H_2 与熔融锂直接化合而制备，这是工业规模生产的主要方法。LiH可用作许多有机反应的还原剂、缩合剂和干燥剂等，它还可作为轻便的低压氢源用于气球的充气或作为燃料电池的贮氢介质。LiH也可用作中子屏蔽材料。（撰写：何可学　审订：卢浩琳）

qiuxinglei dengliziti

球形雷等离子体　ball thunderstorms plasma　一种球形的，自然漂浮的雷击自然现象，甚至传说它可以穿过门窗隙缝进入屋内。1753年里奇曼在试图重复弗兰克林著名实验时被球形雷击死。因为难以在实验室内产生，球形雷至今还是个谜。科学上称为球形闪电，通常伴随着雷击以及蓝、黄、红色的光和可闻的扑扑声。其直径为1～500 cm，存在数秒至数分钟，在空气中飘忽不定，其能量密度高达2万J/cm³，比TNT炸药高10倍，因为有很高的能量密度而受到国外军方的注意。二次大战时的潜艇官兵在操作15 kA电池时，较多报告称看到球形光。用5 kW，2.45 GHz微波观察到微波关闭后还存在1～2 s的火球。早期解释是由某种化学反应造成的，后来又提出静电模型。再后来又提出其他模型，例如球形托卡马克和Z-箍缩。（撰写：钱尚介　审订：黄　林）

qiuxing ranliao yuanjian

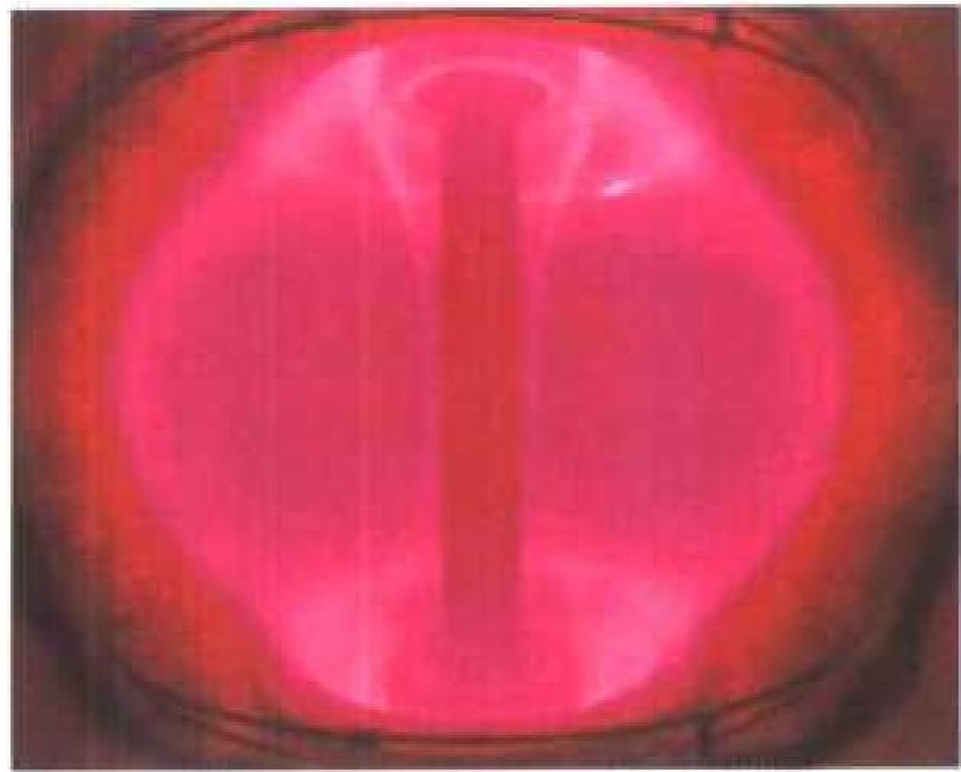
球形燃料元件　spherical fuel element　用于球床形高温气冷堆的燃料元件（见图）。德国开发的球形燃料元件的外径为60 mm，燃料区直径为50 mm。无燃料石墨球壳的厚度为5 mm。包覆燃料颗粒均匀弥散在基体石墨中。球形燃料元件的制造采用橡胶模冷准等静压工艺，包括石墨基体粉末制备、包覆颗粒"穿衣"、球芯预压、终压成形及车削和热处理等五道工序。基体石墨的基本功能是慢化中子和导出裂变热，对球形燃料元件它还是受力的结构材料。要求基体石墨具有良好的导热性能、近各向同性、好的力学性能（落球强度、压碎载荷和耐磨损）和好的耐蚀性能。NUKEM/HOBEG公司用天然石墨和人造石墨作为骨料，酚醛树脂作粘结剂，采用冷准等静压工艺发展了A3-3和A3-27两种已付诸实用的基体石墨。（撰写：邱学良　审订：李文埮）



球形燃料元件示意图

qiuxing tuokamake

球形托卡马克　spherical Tokamak　又称为小环径比托卡马克，国际流行的名称为球形环（Spherical Tours），由美籍华人学者彭元凯于1986年提出。大环半径与等离子体半径之比（环径比）小于2.5的托卡马克，1991年英国小型装置START实验证明：(1)无须专门的偏滤器线圈就可自然地形成偏滤器位形，其偏滤器性能更好。(2)在数万次放电中没



球形等离子体图

有发生托卡马克常见的大破裂，其产生的电动力和高热负荷是对聚变堆的极大威胁。球形托卡马克允许较低的磁场，有较高的自举电流份额，可得到接近1的β值，这是经济性良好的聚变堆的关键问题。我国的小型球形托卡马克 SUNIST 预期 2001 年建成。

（撰写：王中天　审订：钱尚介）

quyu juliu yinshu

区域居留因数　area occupancy factor　对于不同应用，区域居留因数有不同的定义。在辐射防护屏蔽计算中，当计算辐射源对所考虑的位置的照射所需的屏蔽体时，根据人员在有关区域居留的时间长短对有效剂量率或注量率进行修正的系数，称为区域居留因数。但在辐射环境评价时，区域居留因数是指人们在某特定区域居留的时间长短对有效剂量进行修正的系数。例如，在辐射屏蔽计算中，对某一确定的源，区域居留因数为实际居留时间与自然时间的比值。又例如，在环境影响评价中，区域居留因数一般根据人们的生活习惯选取。一般地，在我国北方地区，室内的居留因数取为0.8，室外的居留因数取为0.2；而在我国南方地区，室内的居留因数取为0.7、室外的居留因数取为0.3。

（撰写：刘　华　审订：吴德强）

quyu youhanliang celiang

区域铀含量测量　regional uranometric survey　采用相应比例尺的综合化探方法布设测网覆盖大面积工作区，采样并分析样品中铀含量，研究铀元素的区域分布规律，进行铀成矿远景预测的方法。区域铀含量测量在铀矿勘查 1：20 万或更大比例尺的区测和填图阶段同时进行。所提交的成果为相应比例尺的区域铀含量分布特征资料和图件，并作出地质解释和铀远景预测。广义地，（航空、汽车和地面）γ能谱测量也可视作该方法组成部分。它们通常按较其他化探方法更密的测网或沿路线连续测量，取得大量具代表性实测数据。它们提供当量铀含量数据可作为铀远景预测的基础资料。

（撰写：蒋永一　审订：李家俊）

quyang fenxi

取样分析　sampling and analysis　从所关心的地点采集有代表性的环境介质样品，拿回实验室，用物理或化学的方法进行分离、浓集、用适当的计数装置或谱仪测定其活度的过程。它一般包含 3 个环节：(1) 样品的采集，保存和预处理。样本采集的代表性、均匀性、适时性最为重要。样本应记录无误，并在保存、运输中防止其成分发生变化及交叉污染。(2) 样品在实验室内的放化分离，纯化浓集。它是提高分析测量灵敏度的关键，其方法随介质与被测核素不同而变化。一般对于总α，总β和γ放射性测量，要求对样品作过滤、蒸发、溶解、浸出简单处理或浓集后，即可进行物理测量。对于α核素分析，由于α射线射程短，样品制备要复杂一些。通常需采用共沉淀或离子交换，溶剂萃取等方法分离浓集，再用电沉积方法制成 0.5～1 mg/cm² 的“无重量”样品。对于β核素，因其能谱较宽、又是连续分布，特别是射程短的低能β核素，只有同样借助上述化学方法将所关心的β核素从母体材料中分离出来，才能进行测量。在α，β核素的一系列放化分离程序操作中，化学回收率是至关重要的参数，常需加入稳定同位素载体进行化学回收率的测定。(3) 物理测量，选用灵敏度适宜的计数仪器或谱仪至为关键。对于α，β核素的测定，常用的有低本底流气正比计数器、大面积屏栅电离室、近年来具有α/β甄别功能的高灵敏度低本底液体闪烁谱仪，在环境低水平α，β核素的分析测定中有着广泛的应用。对于γ核素测定，常用 NaI (Tl) 或 HpGe γ谱仪和低水平反康γ谱仪等。由于在取样分析过程中环节较多，应有严格的质量保证措施。

（撰写：杨怀元　审订：赵亚民）

quwu

去污　decontamination　用物理、化学或生物的方法去除或降低放射性污染的过程。去污可分为初步去污、深度去污、在役去污、事故去污和退役去污。去污的目标是降低设备、材料、建筑物和地表土壤的污染水平，减少对工作人员和公众的辐射危害，为废物的处理、处置和物料的再循环、再利用提供条件。在确定去污目标和选择去污技术时，主要应考虑：去污对象（包括污染类型、结构、形状、尺寸、材料）；要求去污的程度；工作人员的受照剂量；现有的技术条件；二次废物量和处理方法；去污对设备、系统完整性的影响等，并应作代价利益分析。

（撰写：王显德　审订：孙东辉）

quwu yinshu

去污因数　decontamination factor　被污染物去污前、后的放射性水平的比值，又称去污因子。用于评价对被放射性污染物体的去污效果，它既可针对某个特定的放射性核素也可针对总的放射性污染的去除。有时也用去污效率来表示。去污因数 DF 和去污效率 DE 可分别用下列各式表示

$$DF=\frac{A_0}{A_t}$$

$$DE=(\frac{A_0-A_t}{A_0})\times 100\%=(1-\frac{1}{DF})\times 100\%$$

式中 A_0 为去污前放射性核素量；A_t 为去污后放射性核素量。

（撰写：王显德　郭景儒　审订：孙东辉　崔安智）

quan biaoji

全标记　general labelling　标记化合物中的某种原子全部位置被一种放射性核素所取代，但各位置取代程序不必相同。例如，用气体曝射法制备氚标记胆固醇时，在其分子的环上、角甲基及侧链上的氢都可能被氚取代，但各位置上氢原子被氚取代的程度并不相同。全标记技术主要用于制备氚标记化合物，特别是那些复杂化合物的氚标记。

（撰写：卢玉楷　审订：吕延晓）

quanchang duandian shigu

全厂断电事故　station black-out accident　压水堆核电厂中由于失去厂外电源、用本厂发电运行失败、加上两台柴油发电机启动失效形成的事故，或由于厂内两个配电盘同时失效使全部安全设备得不到交流电源形成的事故。全厂断电后，控制棒会自动落入堆芯，冷却剂会从强迫流动转入自然循环流动。因此，事故初期堆芯可以得到冷却。但全厂断电会造

成全部电动泵不能运转，在蓄电池电能耗尽后将失去全部仪表指示和控制，使核设施面临非常严重的状态。由于主泵的流体动力密封将因化学和容积控制系统泵及设备冷却水泵的停止而失去保护，造成密封破坏和一回路小破口，此时安全注射系统已不能工作。全厂断电发生的频率在 $10^{-5}\sim10^{-3}$ 每堆年之间，引起堆芯损伤的频率约为 $10^{-6}\sim10^{-4}$ 每堆年之间，属于一种频率较高的超设计基准事故，应采取措施缓解其后果。办法是制定应急操作规程，充分利用厂内的各种设备（不一定是安全级设备）向蒸汽发生器及主泵密封注水；对于两个配电盘同时失效的情况，借助定期试验时使用的跨接电缆，绕过失效的配电盘直接给需要的设备供电。用上述方法，可以获得约 20 h 的宽容时间以便恢复厂内供电。

（撰写：俞尔俊　审订：陈叔平）

quandianya xiaoying

全电压效应　full-scale voltage effect　静电加速器中的加速管总的耐压小于分段加速管耐压之和，即加速管的耐压不随它的长度增加而线性增加，这种现象称为全电压效应。静电加速器中的全电压效应主要来自于加速管内部的“电子负载”。在加速管加电压后，由于某些原因加速管内总会出现少量电子或离子，它们被加速后打到电极上，轰击出较多的次级电子和离子。次级电子和离子又被加速，轰击其他电极又产生更多的电子和离子。当轰击粒子的能量达到某一阈值后，次级电子立即发生雪崩式的增加，进而引起了加速管内不完全击穿。大量的次级电子在加速管内形成反向电子流，经加速管分压电阻产生反向电压，大大抵消了加速管上的正向电压，使整根加速管电压降低。

（撰写：秦久昌　审订：关遐令）

quanfangwei dengliziti zhuru cailiao gaixing

全方位等离子体注入材料改性　plasma surface ion implantation (PSII)　又称等离子体浸没离子注入（plasma immerging ion implantation）。施以负高电压的加工工件浸没在等离子体中而受到全方位等离子体离子注入的材料改性技术。离子束注入材料改性受离子束直线注入的限制而不能用于外形复杂的工件。等离子体浸没离子注入是把工件浸没在等离子体中，在工件表面自然形成与表面形状一致的鞘层，等离子体离子在鞘层中加速并以与表面垂直的方向射入材料。在工件上施加 10～90 kV、数微秒宽的负脉冲电压可以提高离子入射能量。可采用热阴极放电、射频放电和金属阴极真空弧放电等产生等离子体，配合溅射靶，产生富含各种气态和固态元素的离子的等离子体，可以实现各种混合注入，包括 PSII 静态离子束混合注入，PSII 动态离子束混合注入和 PSII 金属离子源混合注入。

（撰写：钱尚介　审订：李启瑞）

quanmian jinzhi heshiyan tiaoyue

《全面禁止核试验条约》　Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty (CTBT)　旨在禁止所有缔约国在任何地方进行任何核爆炸、以全面防止核武器扩散、促进核裁军进程、增进国际和平与安全的国际条约。1996 年 9 月 10 日联合国大会通过，9 月 24 日开放供签署，至 2000 年 5 月，共有中国、俄罗斯、美国、法国、英国等 155 个国家在条约上签字，其中 59 个国家批约。条约将在包括印度、巴基斯坦、朝鲜等 44 个具有核能力的国家批准后第 180 天（但不得早于供签署满两年）生效，条约无限期有效。条约包括序言、17 条正文、2 个附件和 1 项核查议定书。条约规定各缔约国承诺不进行任何核武器试验爆炸或任何其他核爆炸，承诺在其管辖或控制下的任何地方禁止、防止并且不导致、鼓励或以任何方式参与任何此种爆炸；在维也纳设立全面禁止核试验条约组织，包括缔约国大会、执行理事会和技术秘书处；建立一个包括国际监测系统、磋商和澄清、现场视察以及建立信任措施在内的核查机制，其中国际监测系统由可覆盖全球的地震监测、放射性核素监测（包括经核准的实验室）、水声监测和次声监测设施及相关通信手段组成；在证据充分的情况下，对被怀疑进行了核试验的国家可进行现场视察，但须获得执行理事会 51 个成员国中 30 个成员国的赞成。值得指出的是，尽管该条约是在



钱其琛副总理兼外交部长签署 CTBT 条约

美国的积极推动下缔结，克林顿总统也于开放供签署之日签署了条约，但美国参议院仍以条约无法有效核查以及将削弱美核武器的安全性和可靠性并进而影响其核威慑能力为由，于 1999 年 10 月 13 日拒绝批准该条约。

（撰写：段占元　审订：唐西生）

quanronghe fanying

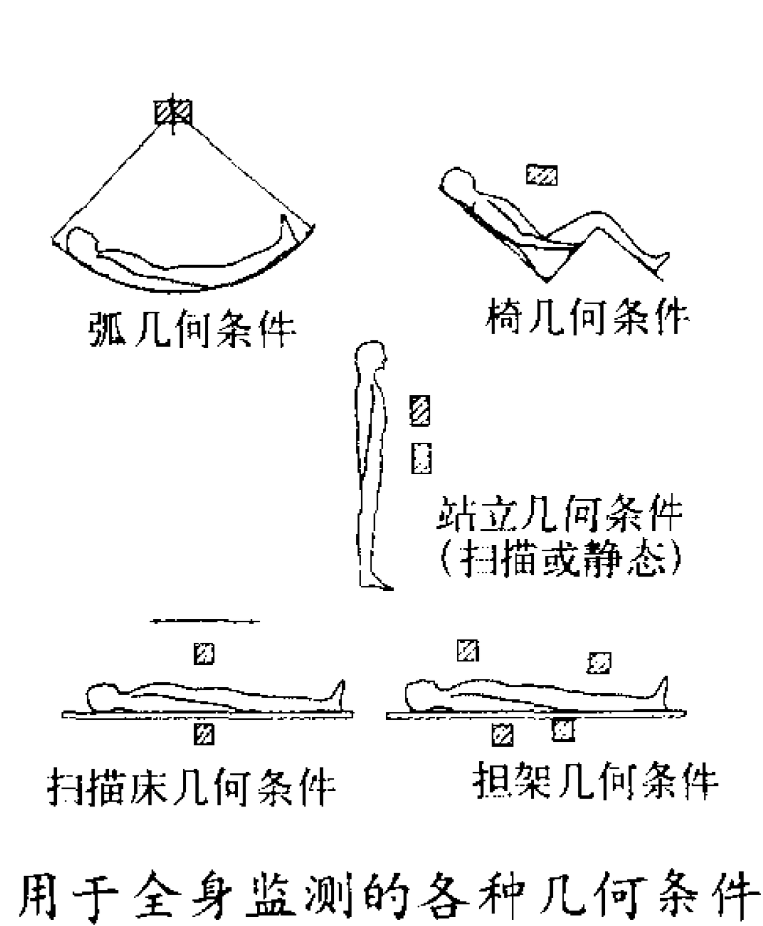
全熔合反应　complete fusion reaction　参加反应的两个原子核的全部核子结合成一个复合核的一种重离子核反应。形成的复合核大多具有一定的激发能，在达到完全统计平衡前后通过发射粒子或 γ 射线退激成蒸发余核，或者发生裂变。在低能时这是重离子反应的主要方式。只有核—核相互作用势满足一定的条件时才能发生全熔合反应，由此归纳出了一些模型理论。如临界距离模型认为，只有核—核之间距离小于某一临界值时，才能发生全熔合；条件鞍点模型认为发生全熔合的碰撞体系其条件鞍点必须位于裂变鞍点之内。据此，两个质量相近而且质量数大于 100 的核，不能发生全熔合反应。全熔合反应被广泛地用于合成远离 β 稳定线的核素，目前是合成 101 号之后元素的惟一方法。例如，1999 年合成的 $Z=118$ 的超重元素就是利用氪与铅的全熔合反应。全熔合反应还能给复合核带入大量的角动量、激发原子核的高自旋态，是研究核的高自旋态的主要手段。

（撰写：许谨诚　审订：张焕乔）

quanshen jishuqi

全身计数器　whole body counter　通过探测发自人体内的 X、γ（有时也可利用高能 β 的韧致辐射）来确定人体内放射性核素的种类、量、沉积部位和（或）其滞留份额的测量装置，也称作人体计数器。这类装置的用途大致可以分为三个方面：常规监测、应急监测以及研究性测量。其基本组成包括：屏蔽体、探测—记录单元，以及人体支架三个部分。随着用途的不同，对各个部分的要求也就不同。但总的来讲，为了

改善装置响应特性的均匀性和测量灵敏度，除了采用重屏蔽、多探测器、大探测器以外，还常采用各种不同的测量几何和扫描方法（见图）。用于全身计数器的探测器，最常用的有碘化钠和半导体，前者能量分辨本领较差，但体积可以做得较大，因此可以获得高的探测效率。后者则相反。为了探测沉积在某些器官内的发射弱贯穿本领的X射线的放射性核素，常需采用专门设计的正比计数器或由碘化钠与碘化铯组成的夹层探测器，这种主要只测定沉积在某器官中放射性核素的专门装置称作器官计数器，例如肺钚计数器、甲状腺计数器等。



用于全身监测的各种几何条件

（撰写：夏益华 审订：胡遵素）

quesuan

缺酸 acid deficiency 在硝酸介质中，硝酸根离子与金属离子之比值小于其化学计算量的比值时的状态。这是由于金属离子水解形成含有氢氧根的金属硝酸盐化合物的缘故。它以氢氧根的浓度来衡量缺酸程度，并用摩尔浓度的负值来表示。例如：0.5 mol/L $Al(OH)(NO_3)_2$的溶液，其酸度为－0.5 mol/L，即缺酸 0.5 mol/L。在后处理工艺中，利用缺酸状态达到铀、钚产品对裂变产物等杂质更好净化的目的。

（撰写：胡景炘 审订：朱永赌）

quebao cuihui zhanlüe

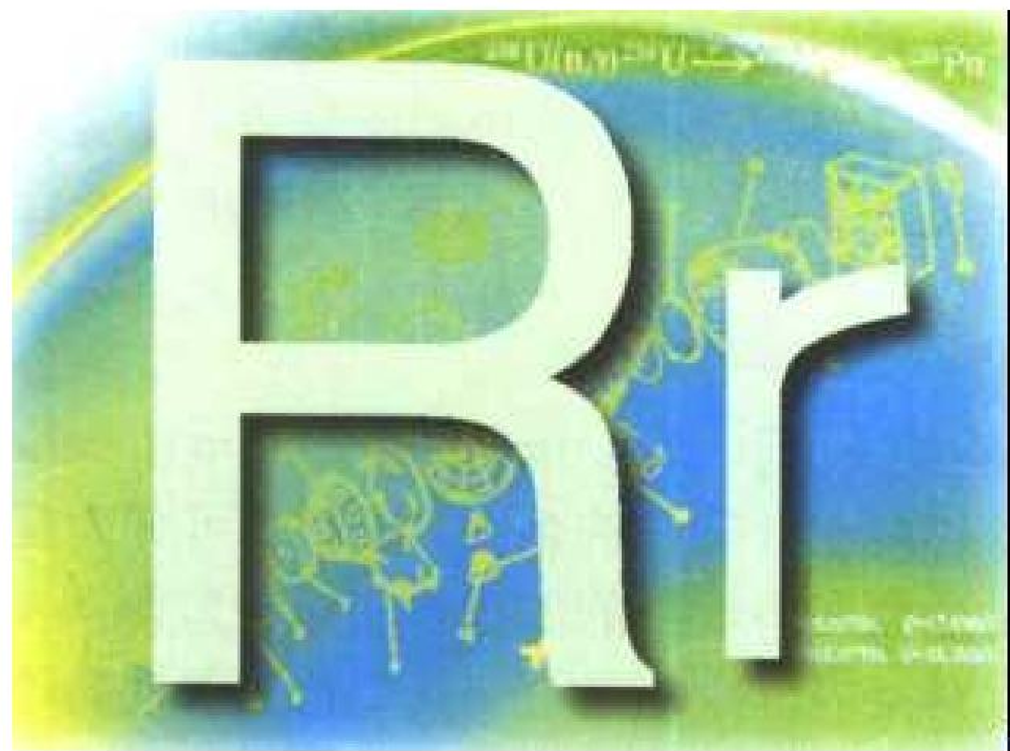
确保摧毁战略 strategy of assured destruction 在核冲突的任何阶段都能给敌对方造成无法承受的损失的核威慑战略。20世纪60年代初，在苏联具备了对美国本土直接进行核打击的能力，从而逐步打破美国的核垄断和核优势地位的情况下，美国前国防部长麦克纳马拉首次提出了“确保摧毁”的概念，并作为一种核威慑战略被美国政府采纳。麦克纳马拉确定的苏联所无法承受的损失是指消灭苏联人口的20%～25%，摧毁其工业生产能力的50%。20世纪60年代后期，随着美苏相互威慑格局的形成，在“确保摧毁”的基础上，又出现了“相互确保摧毁”（MAD）的概念。其基本含义是，只要美苏双方都拥有能给对方以毁灭性报复打击的“确保摧毁”能力，则任何一方都不敢挑起核冲突，因而也就保持了战略稳定、避免了核战争。美苏1972年签署《反导条约》的主要目的之一，就是防止任何一方通过加强防御来削弱对方的核报复能力，从而破坏在“相互确保摧毁”基础上的战略稳定性。长期以来，“确保摧毁”理论一直是美国核战略的理论基石，也是冷战时期美苏双方维持战略态势稳定和核裁军进程得以取得进展的基础和前提。

（撰写：段占元 审订：唐西生）

quedinglun anquan pingjia

确定论安全评价 deterministic safety assessment 以一系列公认的或规定的具有包络性质的事件或事故为对象，采用经过论证的，且具有一定保守性的假设及计算方法，分析计算整个核设施系统已设置的安全系统对这些事件或事故的响应，衡量其后果是否满足特定接受标准（验收准则）从而评价核设施的安全性。

（撰写：俞尔俊 审订：董柏年）

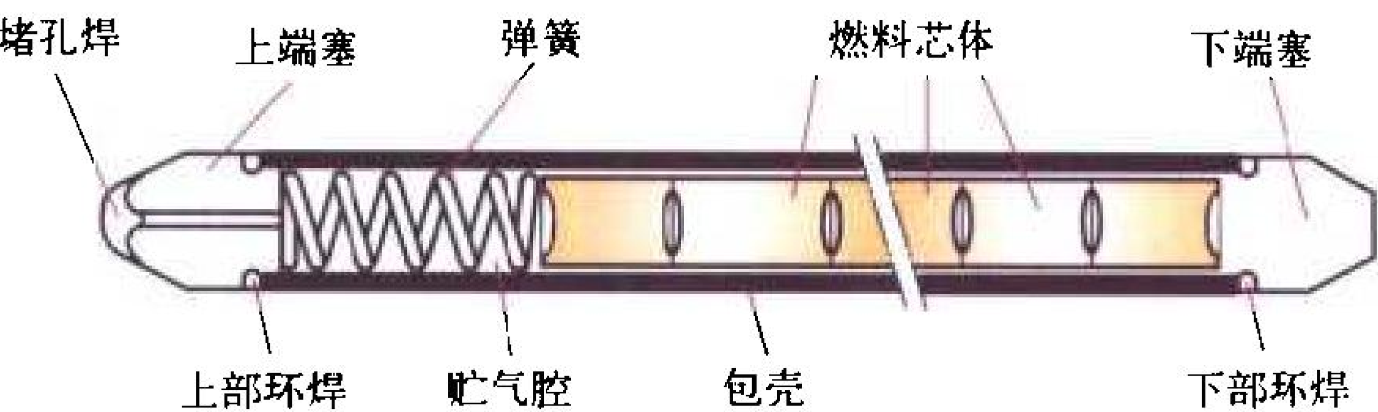


ranhao

燃耗 burnup 反应堆运行过程中核燃料中的易裂变核素（如^{235}U）因裂变而消耗的过程，也指这种消耗的程度（燃耗深度）。另外，可转换材料和可燃毒物吸收中子发生核转换的过程也称为燃耗。目前常用来定量表征燃料燃耗的物理量有以下两个：(1) 比燃耗：单位质量燃料释放的总能量。其单位通常为 MW · d/t，常用于动力堆；(2) 燃耗份额：某核素初始量中被燃耗的份额。通常用百分数表示。常用于研究试验堆。此外，还有两个不大常用的物理量：(1) 菲法（FIFA)：等于某一批燃料中产生的裂变总数除以在该批燃料中初始易裂变的原子数所得的商；(2) 菲玛（FIMA)：等于某一批燃料中产生的裂变总数除以在该批燃料中初始可裂变的原子数所得的商。（撰写：唐富初 审订：杨传德）

ranliao bang

燃料棒 fuel rod 将核燃料制成芯块封装于金属管内所形成的密封的细长构件，是燃料组件的基本结构单元。动力堆燃料棒通常采用 UO_2 或（U, Pu）O_2 陶瓷作芯块，以锆合金（轻水堆）或不锈钢（快中子堆）作包壳管。如图所示为现代



轻水堆燃料棒示意图

轻水堆的燃料棒的结构。棒长视堆型不同而异，压水堆燃料棒长约 4 m，直径约 1 cm，芯块与包壳之间的初始间隙约为棒直径的百分之一。燃料棒外表面有冷却剂流过，带走因裂变而产生的热量。燃料棒上端的贮气腔容纳裂变气体，以防止内压过高。为了降低燃料中心温度、减少裂变气体释放，减少贮能，以提高安全性，当前轻水堆燃料棒直径有进一步减小的趋势。（撰写：张忠岳 审订：黄玉才）

ranliaobang zujian fuzhao kaoyan

燃料棒(组件)辐照考验 irradiation test of fuel rod (assembly) 新设计的燃料棒（或组件）在投入实际使用之前，先在试验堆或动力堆中进行辐照试验，以检验其性能是否达到设计指标和安全要求，为修改设计提供依据。这种考验大体分为两种：(1) 取较短的燃料单棒或由若干短棒组成的小组件，置于试验堆中专设的高温高压试验回路中进行考验。回路的热工水力条件与日后动力堆的正常运行条件相同，燃料中心温度常取实际情况下的最高温度。这种考验的缺点是：实际运行中的功率变化历史和燃料棒内部条件难以模拟。考验所得结果可以较好地验证燃料棒（组件）的结构完整性，以及有无制造缺陷等，但燃料棒内部的情况则可能与动力堆中真实情况有较大出入。(2) 取少数根燃料棒装入现役的燃料组件，或取新设计的少数个燃料组件，在动力堆中按真实运行条件，进行随堆考验。这种随堆考验得到的结果，可以对单棒或整个组件的堆内性能进行全面的、符合真实情况的检验。这是目前在有现役动力堆可以利用的情况下，广泛采用的较好的方法。缺点是：规模较大，费用较高，考验前后准备、运输工作较复杂。（撰写：张忠岳 审订：黄玉才）

ranliaobang jiancha

燃料棒检查 fuel rod check 为确认燃料棒是否符合技术条件而进行的质量检验和查看作业。检验项目主要有：采用氦质谱检漏仪对 100% 燃料棒进行密封检查；采用 X 射线透视照相法对燃料棒所有的焊缝进行 100% 的探伤检查，从多个方位对熔深、气孔、夹杂物进行鉴定；对燃料棒的空腔进行 100% 检查，以验证空腔的长度；采用 γ 扫描法对燃料棒进行 100% 轴向扫描检查，以验证燃料柱堆叠无明显间隙和弹簧压紧的有效性；同时，通过外观检查观察焊缝及包壳管表观形貌；测量燃料棒的长度，直径和弯曲度；最后，采用擦拭法检查表面放射性污染情况，确认无表面污染后方能以成品出厂。（撰写：王树人 审订：李文埮）

ranliaobang mosun yu moshi

燃料棒磨损与磨蚀 wear and fretting of fuel rod 轻水堆燃料组件中燃料棒与定位格架接触处，由于冷却剂高速流动引起振动而造成的包壳表面机械摩擦和磨损；以及由于流致振动引起包壳—格架碰撞和包壳本身腐蚀综合造成的包壳磨蚀现象。燃料棒磨损和磨蚀的严重程度，与定位格架的夹持力、定位格架的结构设计及其与包壳的相互接触状态有关，是定位格架设计中需要仔细考虑的一个重要问题。此外，定位格架的制造质量也可以对燃料棒包壳磨蚀产生重大影响。例如，若制造不善，下层定位格架应力松弛不多，则高应力区域的应力腐蚀可能导致定位格架破裂，转而引起包壳的局部磨蚀。异物造成的燃料棒包壳磨蚀是迄今为止发生频率最高的事件。但通过设置异物过滤网，这种磨蚀问题已大为减少（参见下管座异物过滤网及高性能燃料组件）。（撰写：张忠岳 审订：黄玉才）

ranliaobang qiege quyang

燃料棒切割取样 fuel rod cutting and sampling 从燃料棒切取破坏性检验样品的作业。为了能精确测量各样品的辐照条件、物理、力学性能和显微组织的变化，切样定位要求准确，切口要求尽量小；夹具可转动，并兼有横切和纵切功能；切割前包壳管内吸注环氧树脂，以保持原始裂纹形貌。常用的热室切割装置是低速金刚石圆片切割机。切割机需附带精确定位和可靠的夹紧装置。圆片厚度小于 0.5 mm，能浸水降温、低速切割可减少切屑飞溅。（撰写：王树人 审订：李文埮）

ranliaobang wanqu

燃料棒弯曲 fuel rod bowing 轻水堆燃料组件中由于温度分布不均匀或各层定位格架对燃料棒夹持力过大，使燃料棒不

能自由伸长而发生的弯曲(挠曲)现象。燃料棒弯曲(挠曲)可以导致其周围流道宽度发生变化，流道面积局部缩减。最严重处，将引起燃料棒局部过热。实验表明：在现代压水堆燃料元件的运行条件下，当流道宽度与原设计值相比减小约 40 % 时，临界热流密度降低约 10 %，即使流道宽度减小 50 %，对临界热流密度影响也不大。仅当流道完全闭合时，临界热流密度才有严重降低。（撰写：张忠岳　审订：黄玉才）

ranliaobang xielou jiancha

燃料棒泄漏检查 leakage detection fuel rod 判断燃料棒有无泄漏和泄漏程度的检测。在反应堆内一般通过测量一回路水中β，γ放射性或测量裂变产物 ^{87}Br，^{137}I 发出的缓发中子计数来判断燃料棒是否破损。停堆后，可在燃料水池内采用啜漏试验检出破损组件。水池检查又有干法和湿法之分，前者是将组件密封在容器内，加热或减压后通载气带出裂变产物，测量其放射性；后者是将组件密封在特制容器中，取水样测量放射性核素。此外还可采用超声检测技术，检出破损后有冷却水进入的燃料棒。最后，在热室内从组件抽出破损燃料棒采用涡流探伤技术检出穿孔和裂纹，也可采用热水、乙二醇、液态氮—酒精检漏及氦气加压检漏等技术，检出破损棒及破损部位。此外，还可通过测量空腔部位 ^{85}Kr 的γ射线相对强度来判断其泄漏程度。（撰写：王树人　审订：李文埮）

ranliaobang zhuangpei

燃料棒装配 fixing of fuel rod 把燃料（如 UO_2）芯块及相关零件按一定要求封入包壳管（锆合金），制成燃料棒的过程。燃料棒由低富集度 UO_2 芯块、锆合金包壳管、锆合金上下端塞、Al_2O_3 隔热块、不锈钢压紧弹簧组装而成。先将下端塞焊接在包壳管下端，然后依次将配长后的芯块、隔热块、压紧弹簧装入包壳管再安装上端塞并进行环缝焊接。焊后称重，推算棒中芯块的质量。最后，充入一定压力的纯氦，再进行氦弧堵孔焊。装配中应保持装配件及现场的清洁，芯块、隔热块与弹簧预先烘干。环焊可采用电子束焊或磁力电阻焊。

（撰写：王树人　审订：李文埮）

R

ranliao baoqiao

燃料包壳 fuel cladding 包覆和封闭核燃料的外套。用以避免核燃料受冷却剂的腐蚀与机械冲蚀并包容裂变产物，及为燃料元件提供结构支撑。对包壳材料的要求是：热中子吸收截面小，感生放射性小；抗冷却剂腐蚀性能好；与燃料芯体的相容性好；热导率高；足够的强度和延性；辐照稳定性好；易加工，可焊性好；易于后处理等。常用的包壳材料有铝及铝合金、镁合金、锆合金，不锈钢和石墨等。它们可分别用做低温（200 ℃以下）生产堆和研究堆、石墨慢化 $-CO_2$ 冷却反应堆（约 450 ℃）、水冷动力堆（约 350 ℃）、钠冷快中子增殖堆（650 ℃）和高温气冷堆（750～950 ℃）燃料的包壳材料。（撰写：王树人　审订：李文埮）

ranliao huaxue

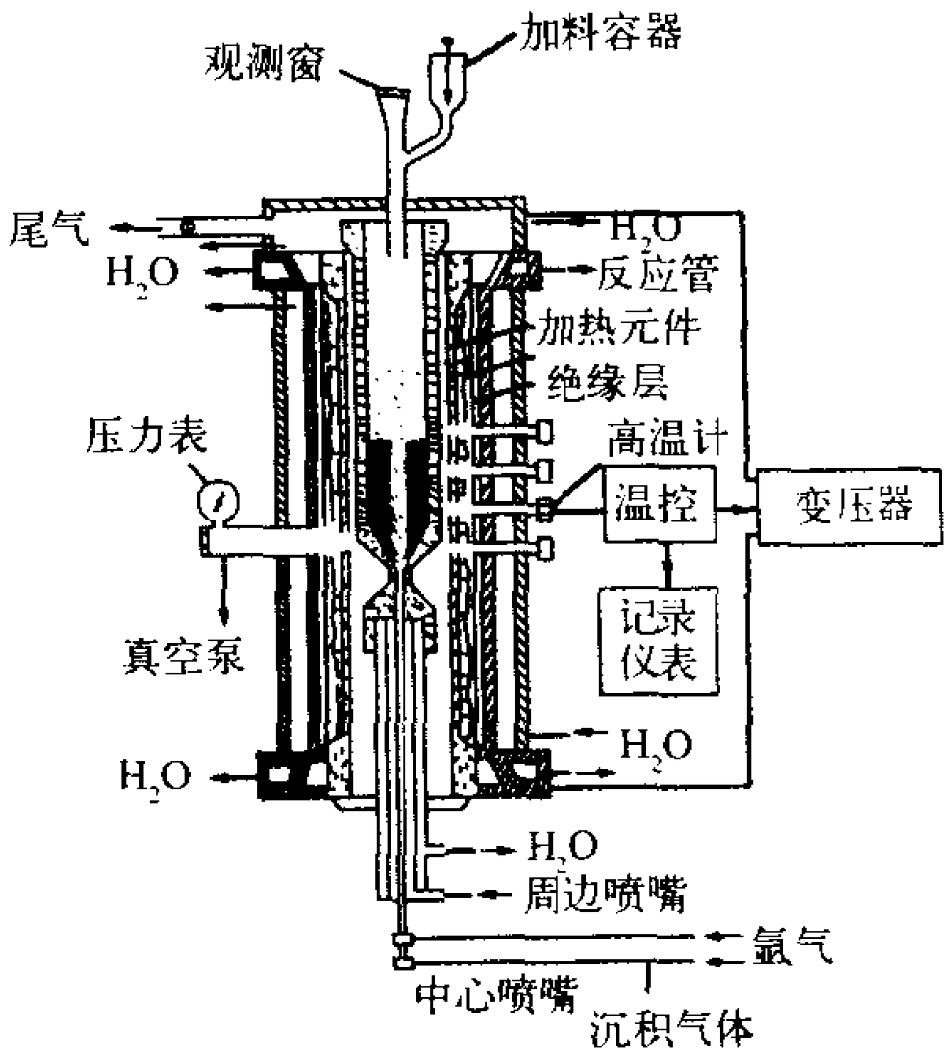
燃料化学 chemistry of fuel 氧化物燃料在堆内温度梯度下所发生的氧的化学位变化的现象。影响燃料化学的主要因素是燃料的初始氧 / 金属比和燃料温度梯度。在快堆 $(U,Pu)O_2$ 燃料棒中，最重要的化学特性是氧的化学位（即氧的分压）。超化学计量的 $(U,Pu)O_{2+x}$ 的氧化学位比亚化学计量的要高得多，故快堆采用亚化学计量的燃料 $(U,Pu)O_{2-x}$。在堆运行条件下，铀、钚与氧一样蒸发，生成多种气态物质。因气相的重金属原子含更多的氧，气化后燃料就变得亚化学计量程度更深。同时，氧通过热扩散从芯块中央向周边迁移，使周边的氧 / 金属比高于中央的，该现象称为氧的重布。氧 / 金属比的变化影响燃料的热导率和氧在燃料中的化学位，后者制约着包壳的抗腐蚀性能。（撰写：李文埮　审订：张忠岳）

ranliao posun jiance xitong

燃料破损检测系统 fuel rupture detection (location) system 监测反应堆燃料元件破损的系统。该系统可分为反应堆运行期间的实时监测和停堆后的破损燃料定位监测两类。实时监测系统通过对反应堆冷却剂中裂变产物放射性的连续监测来判断燃料是否发生破损及破损的严重程度。所监测的放射性可以是冷却剂的总γ射线、高能γ射线或缓发中子等。监测系统可由取样和探测装置及测量和控制装置组成。对于压力管式反应堆，如重水堆和石墨堆等，监测系统可对各冷却剂通道分别进行监测，从而找到破损燃料组件的位置。对于压力容器式或池式反应堆，只能对冷却剂总管进行监测。在这种情况下，只能在停堆后再用定位监测系统找到破损燃料的位置。定位监测系统一般包括燃料组件的接纳取样和测量两个部分。在接纳装置内破损燃料中的放射性会进入浸泡介质（水或空气），经取样分析后即可检测出破损的燃料组件。若要在组件中检测出破损的燃料元件，可通过红外测温或电磁感应等方法确定被测燃料元件内是否已有冷却剂进入来判断是否已经破损。（撰写：徐伟明　审订：张维忠）

ranliao xinhe baofu gongyi

燃料芯核包覆工艺 coating process of fuel kernel 燃料芯核在流态床内，在载气作用下呈流态化状态，通过沉积气体（碳氢化合物）在高温下热解，在其表面沉积炭、碳化硅（或碳化锆）包覆层的过程。载气一般为氩、H_2 或它们的混合物。常用的包覆层有疏松热解碳，致密热解碳、碳化硅或碳化锆等。改变包覆工艺条件，包括沉积气体的成分和分压、包覆温度、流态床中颗粒的表面积等可以得到符合使用要求的不同包覆层。各包覆层的沉积气体和包覆温度如表所示。包覆颗粒各层的包覆工艺有分层包覆和连续包覆两种。连续包覆工艺可以提高生产效率，而且减少包覆颗粒因装卸料引起的碰撞，从而减小破损率，提高包覆颗粒的质量。



高温流态床示意图

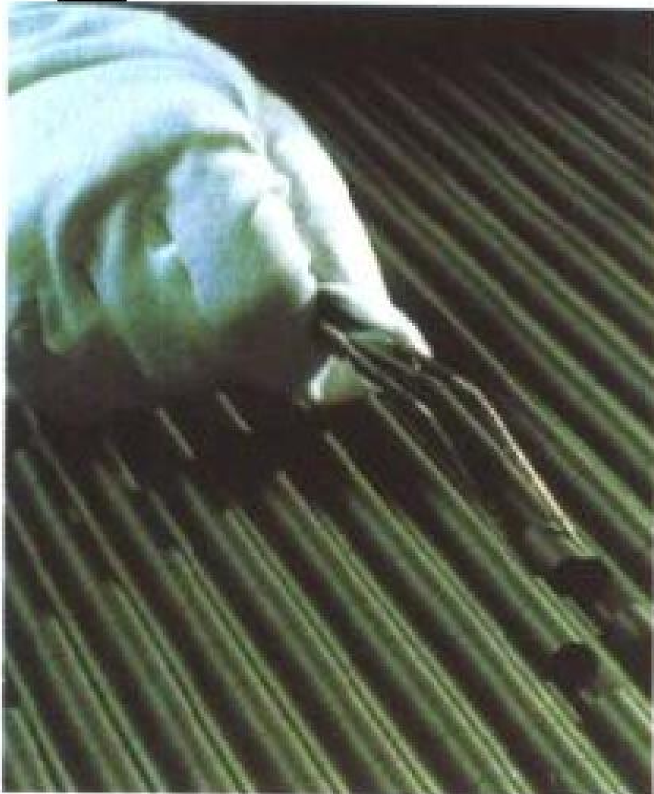
各包覆层的沉积气体和包覆温度表

包　覆　层	沉积气体	包覆温度 /℃
疏松热解碳	C_2H_2	1400～1500
致密热解碳	$C_3H_6+C_2H_2$	1250～1500
	CH_4	1800～2100
碳化硅	CH_3SiCl_3	1500～1700

（撰写：邱学良　审订：李文埮）

ranliao xinkuai

燃料芯块 fuel pellet 封装叠置于燃料包壳内的燃料小块。在现代水冷动力堆中,燃料芯块通常为氧化铀或铀钚混合氧化物小块,呈圆柱状，其高度与直径之比一般为1～1.5。轻水堆燃料芯块的 ^{235}U 富集度一般为 2 %～3 %，重水堆一般采用天然铀芯块。近年来为提高燃耗,目前轻水堆燃料芯块的 ^{235}U 富集度逐渐提高而以 5 % 为限；重水堆也逐渐推广采用 ^{235}U 富集度约为 1 % 的芯块。现代压水堆燃料芯块（见图)，通常在其上下端面的中央设置碟形凹陷，在端面周缘设置小的倒角，用来补偿芯块的轴向肿胀，缓和芯块与包壳的机械相互作用。


燃料芯块

（撰写：张忠岳　审订：黄玉才）

ranliao yuanjian

燃料元件 fuel element 在反应堆内以燃料为主要组分的结构上最小的独立部件。燃料元件主要由（核）燃料芯体和包壳组成。常用的燃料芯体有 U–Al 合金、UO_2 或 (U，Pu) O_2 陶瓷和 U_3Si_2–Al 弥散体等；包壳有铝合金、锆合金、不锈钢和石墨等。不同堆型采用不同的燃料元件，按堆型冠名的有压水堆燃料元件、重水堆燃料元件等；按燃料形态可分为金属型、陶瓷型和弥散型等；按形状划分又有棒状、管状、板状和球状等，此类燃料元件相应被称为燃料棒、燃料管、燃料板和燃料球等。就目前大多数轻水堆和重水堆而言，燃料元件即燃料棒，它由 UO_2 燃料与 Zr–4 合金制成。但轻水堆和快中子堆的燃料组件，以及重水堆的燃料棒束有时也统称为燃料元件。（撰写：李文埮　审订：张忠岳）

ranliao yuanjian biaomian chuanre xishu

燃料元件表面传热系数 heat transfer coefficient of fuel element 燃料元件表面温度与冷却剂温度单位差值下单位面积传出的热功率。它反映燃料元件表面与冷却剂之间的传热强度，也称放热系数,单位是 W/(m^2 · ℃)。现代压水堆或沸水堆在正常工况和事故工况下可能遇到的传热过程有：强迫对流传热、自然对流传热、沸腾传热等；快中子反应堆中有液态金属的传热；气冷堆中有气体的对流传热和辐射传热，它们都有不同的表面传热系数。表面传热系数与流体物性、流道几何形状、流动状态、热流密度和固体表面性状等有关，情况十分复杂，因此它的数值主要用模拟实验方法求得。

（撰写：李金才　审订：马昌文）

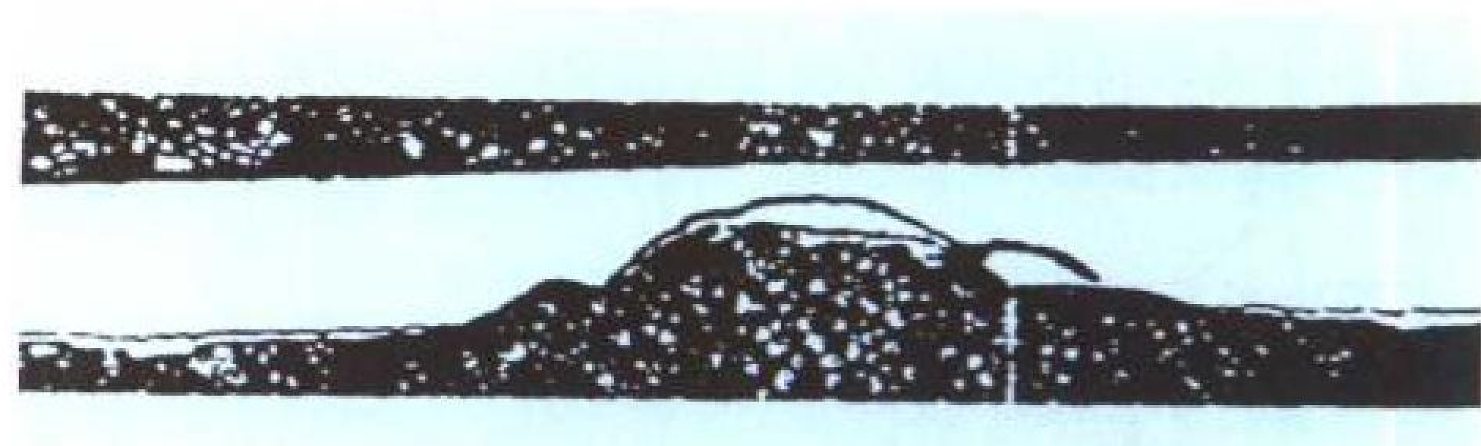
ranliao yuanjian biaomian reliu midu

燃料元件表面热流密度 surface heat flux of fuel element 燃料元件单位表面积、单位时间内所传递的热量，常用单位为kW/m^2。它是释热强度的一项重要指标，由燃料元件内的释热率、燃料元件表面的尺寸大小和形状所决定。燃料元件表面热流密度愈大，燃料元件表面温度就愈高。通常将燃料元件表面温度不超过容许值作为一个重要的热工限制条件。对于水冷反应堆，若燃料元件表面热流密度达到临界热流密度，会导致燃料元件烧毁。因此热工设计应保证任何情况下燃料元件表面热流密度都低于临界热流密度。

（撰写：马昌文　审订：李金才）

ranliao yuanjian jiegou

燃料元件结垢 crud on fuel element 在燃料元件表面上形成固体沉积物的现象。该固体沉积物就是一回路结构材料不锈钢的腐蚀产物。它的主要成分是铁、镍、锰、氧等，可用通式 $Ni_xFe_{3-x}O_4$ 表示。沉积物的密度约 1.2 g/cm^3。水垢有疏松型和致密型两种。前者不影响燃料元件的传热。后者增加热阻，使局部温升增大；甚者结垢翘起，形成隔离层，局部温升加大，造成局部腐蚀破损（见图)。限制冷却水的溶解氧含量，防止铜离子进入冷却水，都可抑制结垢的发生。


锆包壳管水垢引起的局部腐蚀破损

（撰写：王树人　审订：李文埮）

ranliao yuanjian waiguan jiancha

燃料元件外观检查 visual inspection of fuel element 通过对外观形貌的观察来评定燃料元件表面性能和结构变化的无损检验方法。检查的项目有氧化膜、腐蚀斑、磨蚀坑、划伤、裂纹、结垢、燃料棒变形、装配件移位等。检查器具有潜望镜、摄录像机及专用内窥镜。对辐照过的燃料元件需透过热室观察窗进行观察、照相或摄像。为防止光学玻璃的辐照着色，光学仪器应采用耐辐照玻璃制造。热室照明要保证足够的照度，必要时装设局部照明，要求颜色再现性好，并可获得清晰的图像和照片。同时，要求能耗小、发热量低，钠蒸气灯和镝蒸气灯已广泛应用于热室照明。

（撰写：王树人　审订：李文埮）

ranliao yuanjian xiangonglü

燃料元件线功率 linear power of fuel element 燃料元件单位长度所产生和传出的热功率，常用单位为 W/cm。它反映了燃料元件释热强度，决定了燃料元件会否过热或烧毁。因此为了保证安全，常规定燃料元件的线功率不得超过某个容许值。

（撰写：马昌文　审订：李金才）

ranliao zengzhi

燃料增殖 fuel breeding 反应堆燃料转换比 CR（参见燃料转换）大于 1 时的转换过程。这时反应堆内产生的易裂变核素比消耗掉的要多，转换比 CR 改称为增殖比 BR。易裂变核每吸收一个中子产生 η 个有效裂变中子，为了维持链式反应至少必须消耗一个中子，因此最多只有 (η–1) 个中子可以用来实现燃料转换，显然只有当 (η–1) 大于 1 时才有可能实现增殖。对于 ^{235}U 或 ^{239}Pu 作燃料的热中子堆，(η–1) 值虽然略大于 1，但这样的 η 值还不足以补偿其他材料的吸收和泄漏损失，因而不可能实现增殖。只有当裂变主要是在快中子能谱区内发生时才能实现增殖，这种反应堆称为快中子增殖堆。对于以 ^{233}U 为燃料的热中子堆，由于其 η 值较大，约为 2.20，理论上可以实现增殖。增殖堆的出现为实现铀和钍资源的充分利用开辟了现实的途径。

（撰写：奚树人　审订：单文志　许汉铭）

ranliaozhu

燃料柱 fuel stack 燃料芯块在包壳管内叠置而成的长圆柱体。燃料柱轴向相邻芯块之间为轴向间隙，在径向与包壳之间为径向间隙。这些间隙与燃料柱上面的“气腔”共同构成包壳管内容纳裂变气体的“自由容积”。燃料柱上端面与包壳上端塞之间的气腔长度，由燃料棒最大内压不超过冷却剂压力的设计准则确定。（撰写：张忠岳 审订：黄玉才）

ranliao zhuanhuan

燃料转换 fuel conversion 利用反应堆链式裂变反应中产生的中子将可转换核素转换为易裂变核素的过程（见图）。含

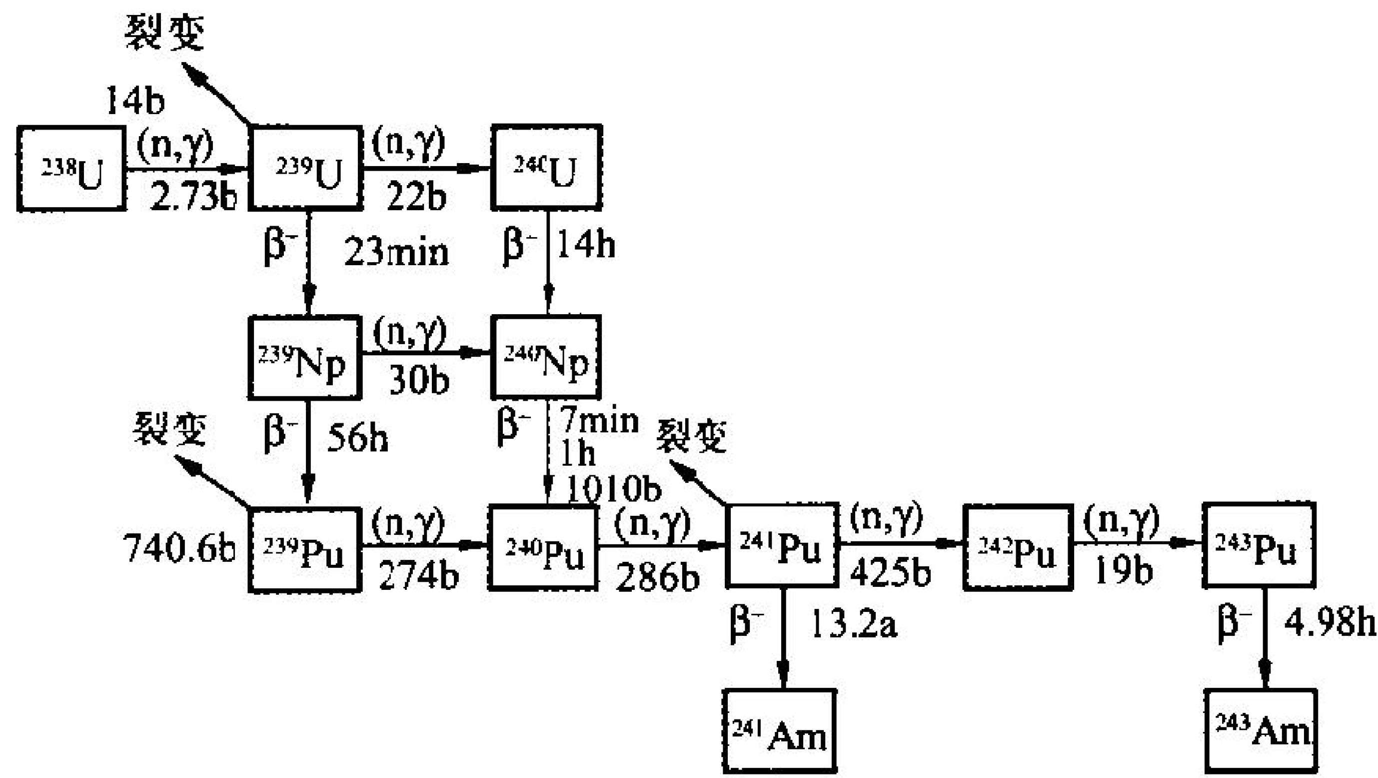


图 1 铀—钚燃料循环中的重同位素链

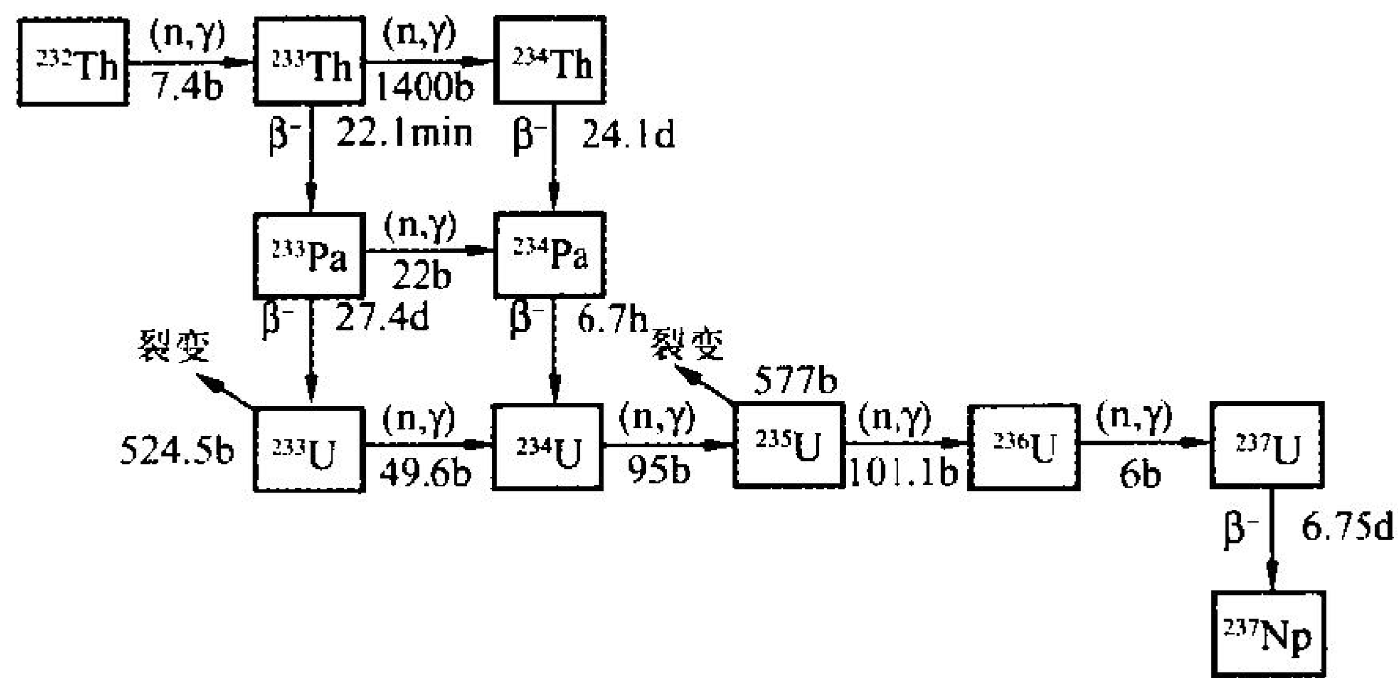


图 2 钍—铀燃料循环中的重同位素链

有可转换核素的材料称为转换材料或增殖材料。目前，作为反应堆核燃料的易裂变核素有 ^{235}U，^{239}Pu 和 ^{233}U。一般的可转换核素有 ^{238}U 和 ^{232}Th。通常用燃料转换比 CR 来描述转换效率，它定义为反应堆中每消耗一个易裂变核素原子所产生新的易裂变核素的原子数。在目前采用的低富集度铀的轻水热中子反应堆内，CR 约为 0.6（参见燃料增殖）。

（撰写：奚树人 审订：单文志 许汉铭）

ranliao zujian

燃料组件 fuel assembly 由一组燃料元件按一定排列方式组成的组合构件。堆芯装卸燃料时，组件作为一个整体进行安装、运输和卸出，无须拆开。燃料组件的结构和形式，因堆型不同而不同。现代轻水堆的燃料组件中的燃料棒取正方形排列（参见轻水堆燃料组件）；俄罗斯 BB 3P 压水堆按六角形排列；在重水堆燃料棒束中，燃料棒按同心圆排列（参见 CANDU 型重水堆燃料棒束）；我国建造的高通量试验堆的燃料组件采用六层套管状结构。（撰写：黄玉才 审订：张忠岳）

ranliao zujian baozhuang

燃料组件包装 fuel packing 对燃料组件成品用包装材料进行包裹，并装入包装箱的操作。其目的是保护燃料组件在厂内入库和厂外运输过程中免受污染和损伤。燃料组件包装步骤如下：(1) 按规定检查燃料组件表面清洁度和放射性活度；(2) 用聚乙烯塑料套或类似的材料进行包裹；(3) 将包装好的燃料组件装入专用的包装箱。根据燃料组件的重量、体积和燃料的临界质量，一个包装箱可装一个或几个燃料组件。包装箱一般用强度较高的金属材料制造，且具有很好的刚度。箱内应有防湿、防潮、防摩擦和防振的设施。箱内应安装加速度计，自动记录运输过程中组件纵横向所受到的加速度作用，以便使用前进行核查。包装箱表面的放射性活度应低于允许值。此外，包装箱外表面应有放射性物质等标志。

（撰写：谢光善 审订：张忠岳）

ranliao zujian duiwai xingneng shiyan

燃料组件堆外性能试验 out-of-reactor tests of fuel assembly 模拟反应堆内的安装和使用条件、在堆外无辐照的冷态和热态工况下进行的各种燃料组件性能试验的统称。主要的试验有：燃料组件结构强度和刚度试验；燃料组件水力阻力和流速分布试验；燃料组件临界热流密度试验；格架流场和水流交混试验；燃料组件水力冲刷试验；燃料组件吊装和运输试验；装换料试验；以及控制棒驱动线的对中、抽插、落棒试验等。用堆外试验来验证燃料组件的力学和热工水力等性能是否满足设计规范要求，所受到空间和安全方面的限制较少，因此可比堆内辐照试验容易实现较广泛的试验项目，以补堆内试验的不足。（撰写：连培生 审订：曹关平）

ranliao zujian gujia

燃料组件骨架 skeleton of fuel assembly 由上下管座、控制棒导向管、仪表管和定位格架组成的燃料组件的基本构架。燃料组件骨架必须有足够刚度，以免在地震作用下，由于燃料组件之间相互碰撞而造成组件严重变形或破坏。在燃料组件骨架中，控制棒导向管刚度与上管座压紧弹簧的压力之间，应有合理匹配。如果导向管刚度不够，压紧弹簧压力过大，导向管可能发生挠曲，导致落棒受阻或落棒时间超过设计限值。

（撰写：张忠岳 审订：黄玉才）

ranliao zujian jiancha

燃料组件检查 fuel assembly check 为确认燃料组件是否符合技术条件的要求而进行的质量检查。检查项目包括燃料组件外形尺寸检查和控制棒组件的抽插检验（见图）。燃料组件外形尺寸检查在专用检查台上进行，以底平面为基准，组件垂直状态下测量外形尺寸、不垂直度、弯曲度、扭转角及上下端面的平行度，并测量燃料棒间距和燃料棒与导向管间的间距等。控制棒组件的抽插检验在专用检验台上进行，用一组控制棒组件进行抽插检验，其摩擦阻力应小于设计限值，而且表面无明显擦伤。（撰写：王树人 审订：李文琰）



燃料组件检查

ranliao zujian jieti

燃料组件解体 fuel assembly disassembly 使用切割装置或

专用工具将燃料组件拆卸分离的作业。压水堆燃料组件是由导向管、定位格架、上下管座组成的骨架中插入燃料棒构成的。组件解体分两步进行，第一步先将导向管与上管座（或下管座）拆开；第二步把燃料棒从格架中抽出。早期的燃料组件中骨架的连接是采用焊接或胀接来实现的。因此，其解体方法只能借助铣床、弓锯床、金刚石砂轮片等切割装置，在热室内或水下进行切割、拆卸。近年来，骨架的连接已普遍采用可拆式机械连接结构，如锁紧管、螺纹或螺栓等，并使用防止松动的压扁螺帽，以便于更换破损燃料棒。对可拆式骨架可使用专用工具将导向管与上管座（或下管座）拆开。

（撰写：王树人　审订：李文炎）

ranliao zujian shuili chongshua shiyan

燃料组件水力冲刷试验　fuel assembly hydraulic flushing tests　研究反应堆冷却剂与燃料组件结构件之间相互作用的试验。主要研究在冷却剂流体动力作用下燃料组件的结构稳定性和可靠性（包括燃料组件流致振动特性）、燃料组件材料的耐磨蚀性能等。这类试验通常采用全尺寸模型，并使水质、温度、流速等参数尽可能接近实际工况，以期获得可实际应用的数据。根据研究目标的不同，可能选择在绝热情况下进行冷态或热态的试验，乃至在反应堆专设回路上进行辐照条件下的热态水力冲刷试验。

（撰写：吴少融　审订：姜胜耀）

ranliaozujian zuzhuang

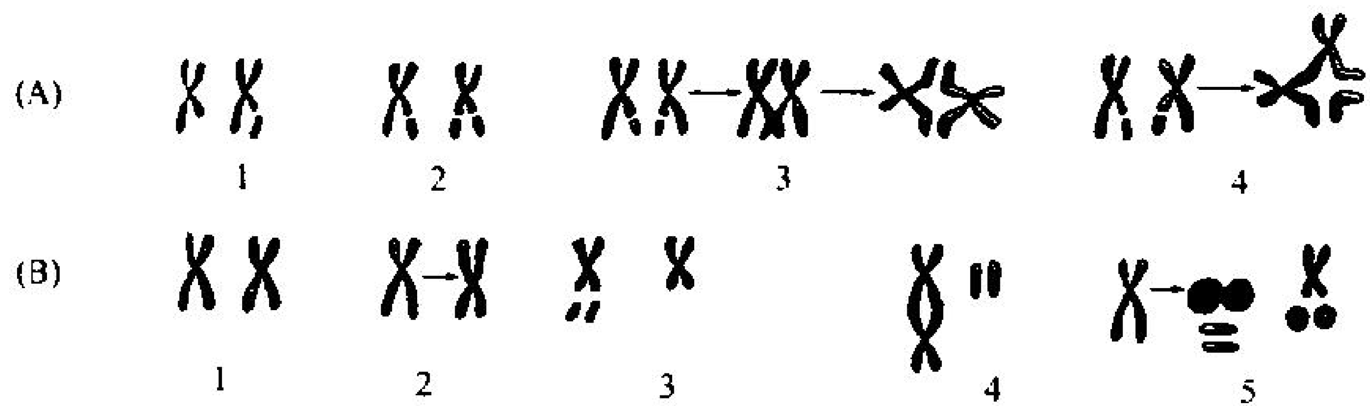
燃料组件组装　assemblage of fuel assembly　把控制棒导向管、定位格架、上下管座和燃料棒等按要求组装成燃料组件的制造过程。组装工序为：在组装平台上，按组装要求，依次将上管座、各定位格架和下管座布置定位，并采用专用夹具固定，再将控制棒导向管插进各定位格架，与下管座固定（见图）。经调整尺寸后将导向管与格架点焊连接。再将燃料棒插入格架各栅元，最后将上下管座与导向管紧固连接。组装过程中要精确调整各部件相对间距和方位后再进行固定和焊接；并要保证各焊点的质量，不得有脱焊和虚焊；燃料棒插入前应涂覆润滑层，以免划伤；燃料棒插入后，应与上下管座留有一定的补偿间隙。（撰写：王树人　审订：李文炎）



燃料组件组装

ranseti jibian

染色体畸变　chromosome aberrations　染色体畸变是指染色体数目或结构发生改变，可自发产生或诱发产生。数目畸变为正常染色体数目的增减，统称为异倍性改变。结构畸变一般指染色体在较大范围的结构改变，在光学显微镜下可以识别。染色体结构畸变分为以下两大类：(1) 染色单体畸变，这是细胞处于S期或G_2期受到诱变作用时产生的，常见的有简单的缺失或断裂（图A_1）；单体裂隙或等点裂隙（图A_2）；结构重排，即发生在同一染色体臂间的单体互换和发生在两个染色体的单体间互换，如对称互换的四射体（图A_3）和非对称互换的三射体（图A_4）。(2) 染色体畸变可分为稳定性和非稳定性两类：稳定性畸变主要包括相互易位，在两个染色体臂上同时发生断裂后的互换（图B_1）。倒位，是染色体两臂各发生一次断裂后，染色体倒位180°重接而成（图B_2）；缺失，即染色体末端丢失（图B_3）。非稳定性畸变主要包括双着丝粒体（图B_4）；着丝粒环和无着丝粒断片（图B_5），它们有些是伴随着形成双着丝粒体和着丝粒环而来的，有不少是由直接击断而形成的。染色体畸变的应用较广，如染色体数目异常在临床上可用来诊断遗传性疾病，染色体对电离辐射非常敏感，



染色体结构畸变

在一定条件下射线的剂量与染色体畸变的数量之间存在着一定关系，1962年就有人提出可根据人淋巴细胞出现的双着丝粒和环的数量来估算人体接受的辐射剂量，称为辐射的生物剂量测定。染色体畸变还被广泛应用于动植物新品种培育及基因定位的研究工作。此外，染色单体型畸变在检测环境诱变剂中也是一个十分有用的方法。

（撰写：邓志诚　审订：孙世荃）

raodong jiaoguanlian he jiaofenbu jishu

扰动角关联和角分布技术　perturbed angular correlation and distribution techniques　基于原子核核矩与核外电磁场间超精细相互作用的一种微观分析技术。母核衰变的放射性子核从激发态经由一定寿命的中间态跃迁到基态或低能态，超精细相互作用引起释放的二个级联γ射线的角关联发生扰动；若中间态由核反应直接产生，其释放的γ角分布被扰动。扰动程度取决于核矩和核外电磁场，而核外电磁场与材料结构、磁性、缺陷和杂质等密切相关。该技术早期主要用于原子核核矩测量和核结构研究，现已发展为研究原子尺度材料性质的重要手段，广泛用于材料结构和相变、磁性、杂质和缺陷、辐照效应、超导电性等研究，也已用于生命科学和化学等领域。该技术近期的一些重要发展内容为：用于表面和界面研究的扰动角关联谱仪（具有原子层分辨率），用于材料等研究的瞬态场离子注入扰动角分布谱仪，及10^{-12}s量级核态寿命核矩测量。我国已建立了国际上第一台BaF_2探测器快—快符合扰动角关联谱仪，串列加速器扰动角分布谱仪和瞬态场离子注入扰动角分布谱仪，并进行核矩—核结构谱学、材料和生命科学研究。　（撰写：朱升云　审订：吕廷晓）

redian

热点　hot spot　堆芯内最逼近热工安全参数限值的位置，通常也是释热率最大的位置。不同类型的反应堆具有不同的热工安全限制参数，它可以是燃料包壳表面温度、燃料中心温度、燃料芯块比焓或偏离泡核沸腾比等，应该据此找出其相应的热点。热点处的热流密度与堆芯平均热流密度之比称为热点因子（hot spot factor）。它实际上是考虑堆芯内释热、冷却剂流动、结构制造公差等不均匀性的一个因子。反应堆在运行过程中，由于燃耗或倒换料等原因，堆芯内热点的位置会发生变化。　（撰写：李金才　审订：马昌文）

redian quwu

热点去污 decontamination for hot spot 对物体放射性污染水平高于平均值部位的去污过程。由于事故(或事件)，材质缺陷、腐蚀或设备、管道形状等因素，导致放射性污染在某些部位集中，其水平高于平均值，形成了热点。经一般去污后，热点残留的污染往往还很高，通常要把几种去污方法组合使用才能达到预期的效果。热点去污的实施应根据污染特性、热点面积、污染水平、去污目的、技术条件和费用等作综合评价和分析。 （撰写：王显德 审订：孙东辉）

redianliangong fanyingdui zhuangzhi

热电联供反应堆装置 nuclear heat and electricity cogeneration unit 利用核反应堆的裂变能发电的同时向用户供应热能的装置。它分为排汽(背压)式(见图1)和抽汽式(见图2)两类。前者蒸汽进入汽轮机做功后，在凝汽器内将热量传给热网水，向用户供热。这种装置因汽轮机排汽的热量全被热网利用，故效率较高，但热负荷与电负荷必须匹配。后者蒸汽进入汽轮机做功时有部分蒸汽按一定压力被抽出作供热用，抽汽量可视用户需要调节，较为灵活。热电联供比单纯发电的热效率高，比单纯供热装置的设备利用率高，因此被认为是有前途的核动力装置。

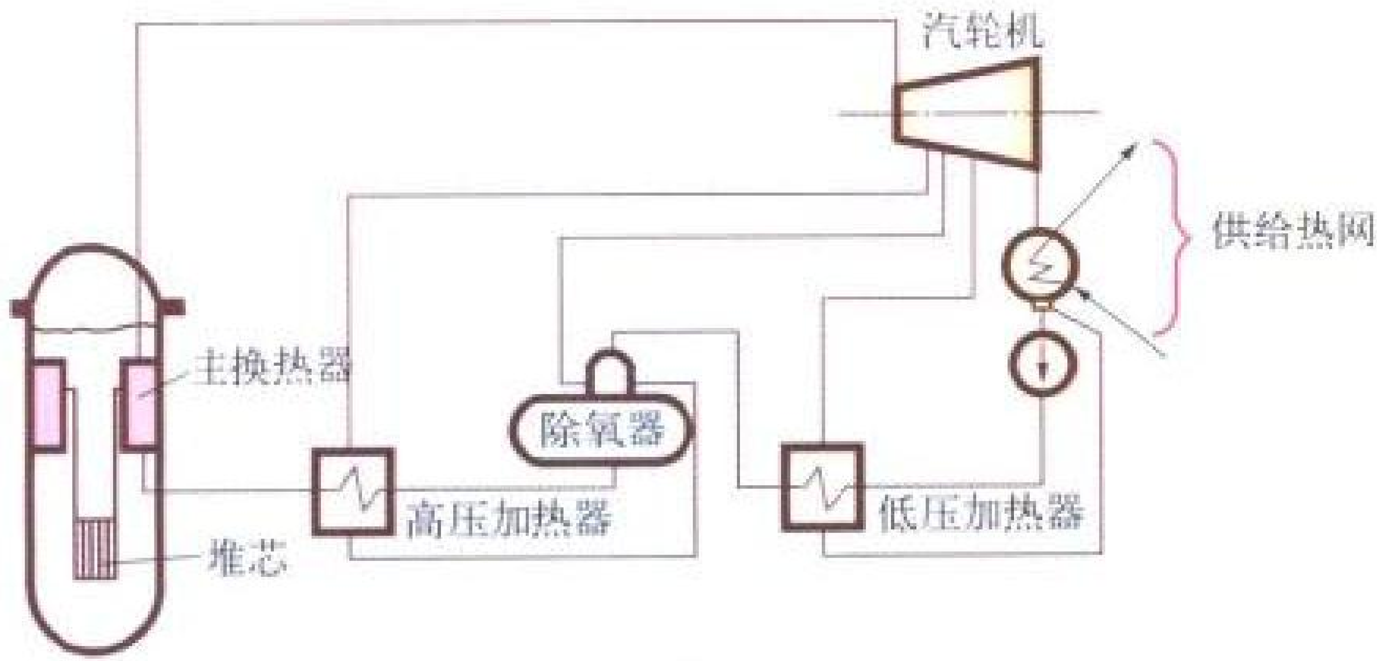


图1 排汽(背压)式热电联供反应堆装置流程原理图

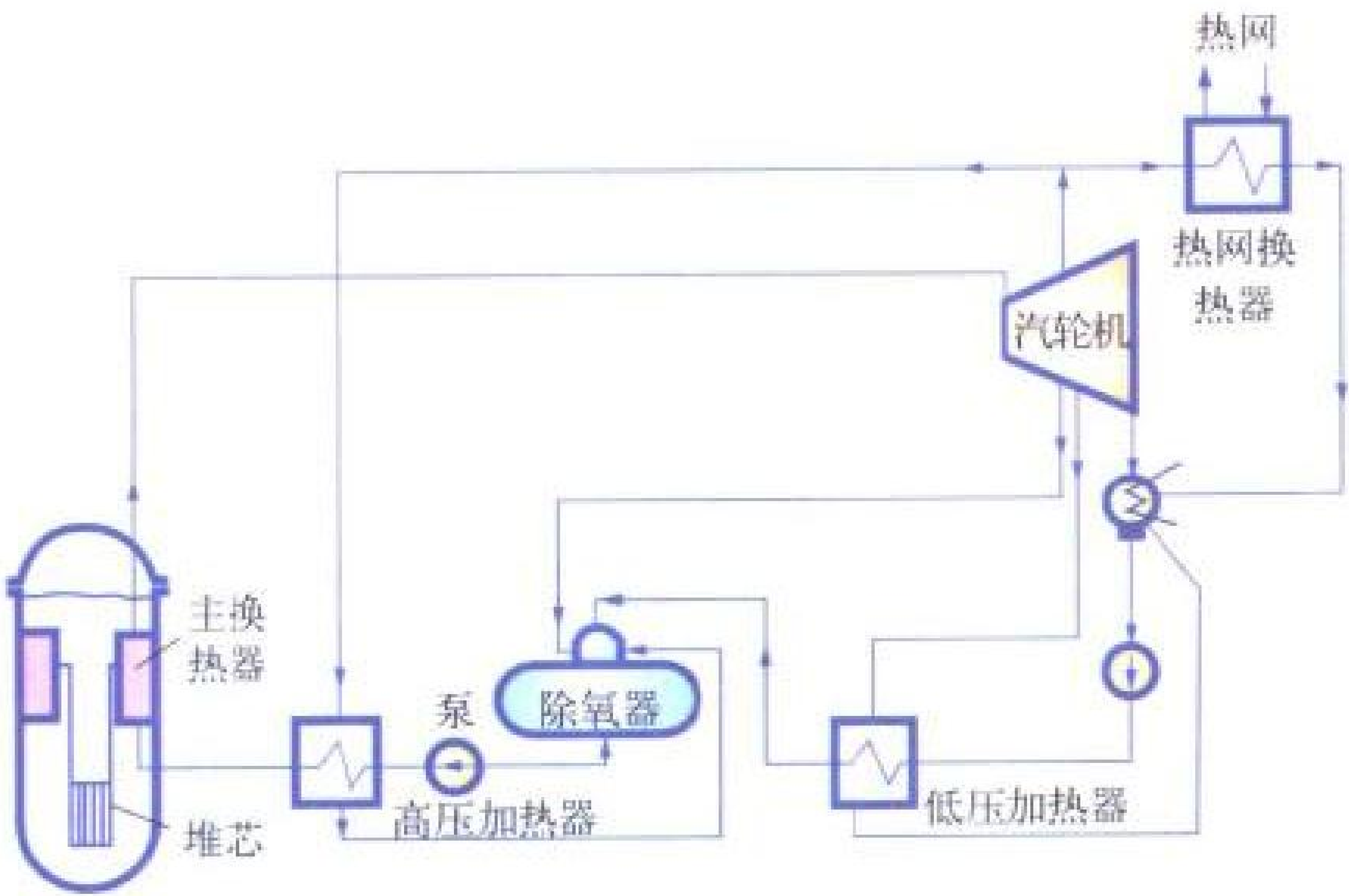
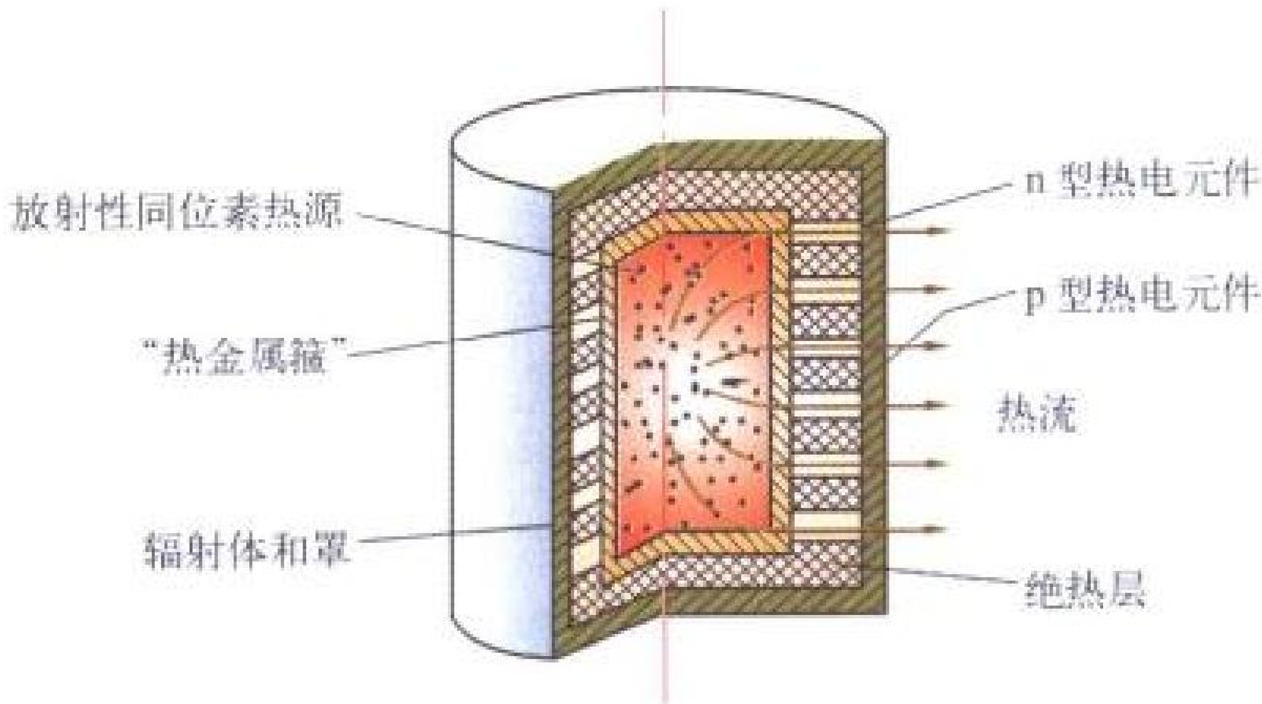


图2 抽汽式热电联供反应堆装置流程原理图

（撰写：马昌文 审订：李全才）

redian zhuanhuanqi

热电转换器 thermoelectric converter 又称温差发电器。用半导体温差电偶将热能转换成电能的装置，半导体温差电偶的材料组合中，以半导体硅锗电路组合热电势最大。在实际应用中一般选用铅碲化合物(PbTe)或硅锗组合。小功率(从几瓦到百瓦级)空间应用时，一个以放射性同位素加热的转换器就是一只可以单独使用的电池。它结构简单，安全可靠，使用寿命长(超过10年)，与太阳光照无关，抗电磁干扰，适应性强，能在失重、强风暴、极低温等环境中正常工作，因此



热电转换器简图

可以作为各种卫星、月球基地、深空探测器的辅助电源，也可用于海洋、陆地的某些特殊环境。它的主要缺点是转换效率低(5%～10%，实际应用中不超过7%)，同位素价格昂贵。如图所示为美国空间“核辅助动力系统”(SNAP)以放射性同位素为能源的热电转换器简图。（撰写：杨继才 审订：苏著亭）

refankui xianxiang

热反馈现象 thermal feedback 轻水堆燃料元件在功率运行中，若功率剧增，则燃料温度升高，芯块膨胀，碎裂程度加剧，裂变气体释放增多；裂变气体成分的增加，使间隙传热性能恶化，从而又反过来使芯体温度进一步升高，芯块开裂进一步加剧，裂变气体释放进一步增加；这种情况常称为热反馈效应或热反馈现象。热反馈现象所导致的非良性循环往往可以促使芯块和包壳的机械相互作用加剧(参见芯块与包壳相互作用)。 （撰写：张忠岳 审订：黄玉才）

regonglü celiang

热功率测量 thermal power measurement 对核反应堆热功率水平的监测。测量装置包括测量冷却剂的温度和流量的设备，通常与计算机相连接。对于动力反应堆，热功率是一个很重要的监测参数。在新堆建成投运后，要用二回路的热功率测量计算值来校准反应堆热功率测量装置。反应堆的核功率测量值也需用热功率进行定期校准。

（撰写：赵善德 审订：孙玉发）

regong yuliang

热工裕量 thermal margin 热工上在满足安全限值要求后额外留出的运行裕度。例如：对于压水堆，要求在正常运行和中等频率事故情况下至少有99.9%的燃料元件不发生偏离泡核沸腾，在此基础上再预留出15%的运行裕度。有了运行裕度后，可以减少在中等频率的预期运行事件中安全系统的动作，提高堆的可运行性。为了提高堆的热工裕量，通常采用如下办法：(1)降低燃料平均功率密度；(2)先进的燃料设计，提高最大线功率限值；(3)使用统计方法代替确定论方法进行计算，减少过度的保守性。

（撰写：李全才 审订：马昌文）

rehe cailiao

热核材料 fuel of fusion 可发生聚变反应，同时又能释放出大量聚变能的物质。热核材料主要有氘、氚和^{3}He。氘存在于海水中，约占六千五百分之一，且容易提取。T在自然界的储量极少，实用的氚可由D–T，n–Li反应产生，其半衰期为12.3年。^{3}He在自然界中仅占^{4}He的千万分之一，无提炼价值。

热核材料燃烧时主要产生下述四种反应：

(1) $^2_1D+^2_1D \longrightarrow ^3_1T+p+4.03\ MeV$

(2) $^2_1D+^2_1D \longrightarrow ^3_2He+n+3.27\ MeV$

(3) $^2_1D+^3_1T \longrightarrow ^4_2He+n+17.59\ MeV$

(4) $^2_1D+^3_2He \longrightarrow ^4_2He+p+18.3\ MeV$

因为 D–T 混合物在不太高的温度下有较大的热核反应率，容易满足劳逊判据（$T=10^8$ K 时，$n\tau \approx 10^{14}\ s/cm^3$），所以它将作为第一代聚变堆燃料。D–D 的点燃条件比 D–T 要高一些（$T=5\times10^8$ K 时，$n\tau \approx 10^{16}\ s/cm^3$），将作为第二代聚变堆燃料。D–^{3}He 的点燃条件比 D–T 还要高些，但 D–^{3}He 反应不产生中子，是干净的能源。（撰写：卢浩琳　审订：韩延德）

rehe dianhuo

热核点火　thermonuclear ignition　聚变燃料系统达到一定的温度和密度后就能只依赖自身热核反应释放的能量开始克服能量损耗使温度上升，这时就叫聚变系统实现了热核点火。热核点火的温度、密度条件称为点火条件。点火条件可以通过不同机理创造。例如在做功点火情况下，通过对聚变燃料系统的压缩做功使聚变燃料的密度和温度升高，热核反应速率也随着提高。当系统的放能速率大于系统的能量损耗速率时，系统的温度将不依赖外界做功而升高，实现热核点火。热核点火是聚变系统状态的质的飞跃。热核点火后，系统才进入自持热核燃烧阶段，才有显著的能量产额，也才有军事上或能源利用上的应用价值。（撰写：郑绍唐　审订：李沄生）

rehe fanying

热核反应　thermonuclear reaction　见聚变反应。

rehe fanying sanyaosu

热核反应三要素　three essential factors for thermonuclear reaction　决定热核燃料总反应数的热核燃料的密度 ρ、温度 T 和反应持续时间 Δt 三个因素。热核燃料的总聚变反应数正比于：$\rho T^n \Delta t$，温度 T 的幂次 n 与热核反应类型和处在哪个温度段有关，在我们感兴趣的温度范围 $n\approx 3$ 左右。由热核反应的三要素可以看出，如何利用裂变爆炸产生的能量，使聚变燃料达到高温、高密度，同时维持足够长的聚变反应时间是研制热核武器要解决的关键问题。

（撰写：郑绍唐　审订：徐迺新）

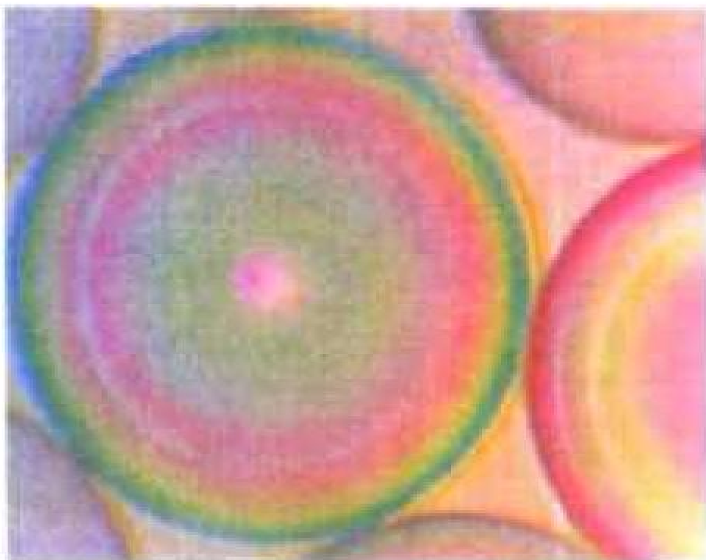
rehe ranliao ranhao

热核燃料燃耗　burn fraction of thermonuclear fuel　热核反应过程中，反应燃烧掉的热核燃料质量与其初始质量的比值。燃耗取决于燃烧速率和惯性约束的好坏。惯性约束包括氘氚燃料本身的约束和氘氚燃料外壳（惰层）的约束。对于一个没有外壳的裸氘氚球形系统，燃耗为 $f=\rho R/(\rho R+\theta)$，其中 ρ 是氘氚密度，R 是氘氚球半径，乘积 ρR 称为面密度。$\theta=4C_T/(n_T^{(0)}<\sigma V>_{DT})$，$C_T$ 是等温声速，$n_T^{(0)}$ 是初始氚核单位质量数密度，$<\sigma V>_{DT}$ 是氘氚热核反应率。在 200 MK 的燃烧温度下，$\theta\approx 6\ g/cm^2$。对于有惰层（外壳）的氘氚球，惰层也起着约束作用。这时燃耗 $f=\eta\rho R/(\eta\rho R+\theta)$，$\eta>1$。

（撰写：李沄生　审订：常铁强）

rehe ranliao rongqi

热核燃料容器　fuel container　简称燃料容器，氘氚物质置于其中。ICF 热核燃料容器通常是空心玻璃微球或塑料微球的单层或多层结构。这些微球的直径一般在 100～1500 μm，壁厚 0.5～50 μm 范围内。它具有高球形度与同心度、低表面粗糙度、高抗张力强度和燃料气体保存寿命长的特点。除玻璃微球（见图）外，塑料微球近来成为一种新型的燃料容器。此外，还有铍球壳、二氧化硅气凝胶、有机泡沫、带烧蚀层、阻气层、推进层的多层球壳以及掺示踪元素的塑料球壳等。



直径 500 μm 的空心玻璃微球（放大约 100 倍）

（撰写：唐永建　审订：江文勉）

rehewuqi

热核武器　thermonuclear weapon　对于很大一部分爆炸能量来自充分发展的热核聚变反应的武器的通称。通常叫氢弹。热核武器主要由三部分组成：(1) 初级，是一个纯裂变或助爆裂变的放能部件，其作用是引发次级的热核反应（一般为先引发次级裂变材料芯的裂变反应）；(2) 次级，是一个与初级分开的、含聚变材料（一般也含可裂变材料）的热核武器主要放能部件；(3) 辐射屏蔽壳，是一个用热辐射难以穿透的重材料制成的、包在初级和次级外面的外壳，其作用是把初级放出的热辐射聚集并高效地传输到次级。大部分热核武器的反应过程有三个阶段：裂变—聚变—裂变。第一阶段裂变反应放出的巨大能量为聚变反应创造高温、高密度条件。第二阶段聚变反应放出巨大聚变能和大量聚变中子。第三阶段高能聚变中子又引起可裂变材料的裂变，放出更多的裂变能，进一步增大了武器的威力。把物质加热至高温、压缩到高密度发生的聚变反应叫热核聚变反应，简称热核反应。对于聚变反应充分发展，聚变威力达到较高份额的武器，称之为“热核武器”。反应过程包含裂变—聚变—裂变三个阶段的热核武器也叫三相弹。有时为了减少热核武器爆炸的放射性沾染，或为了增大聚变威力份额，将次级中的天然铀层用非裂变材料（例如铅或钨等）代替，这种热核武器只有裂变-聚变两个阶段。在原子弹中，初始裂变材料装量必须少于临界质量，而热核武器中的聚变材料没有临界概念，装量不受限制。因此热核武器的威力原则上可设计得任意大。世界上爆炸过的热



一种现代热核战斗部

图中所示 W 87 热核战斗部，用 MX 洲际导弹发射。它装在分导式多弹头(MIRV)中，当打击目标时，MIRV 与导弹分离。

图出处：美国众议院特别委员会. 关于美国国家安全以及对华军事及商业关系的报告. 王振西等译. 北京：新华出版社，1999.87

R

核武器中威力最大的是苏联 50 Mt TNT 的热核装置，而爆炸过的原子弹中威力最大的是美国 500 kt TNT 的原子弹。改变热核武器次级的设计可增强或削弱其某种杀伤破坏因素，制成特殊性能核武器。已经研制成功的特殊性能核武器有中子弹（增强辐射武器）、弱剩余放射性武器（即冲击波弹）和增强 X 射线弹。作为第三代核武器，即定向能核武器的驱动源，也只有利用热核武器才能满足对驱动源的性能要求。与远程投掷/发射工具相结合的小型化热核武器是构成核威慑力量的主体。（撰写：郝绍唐　审订：徐遇新）

rehewuqi ciji de zhongzi yure

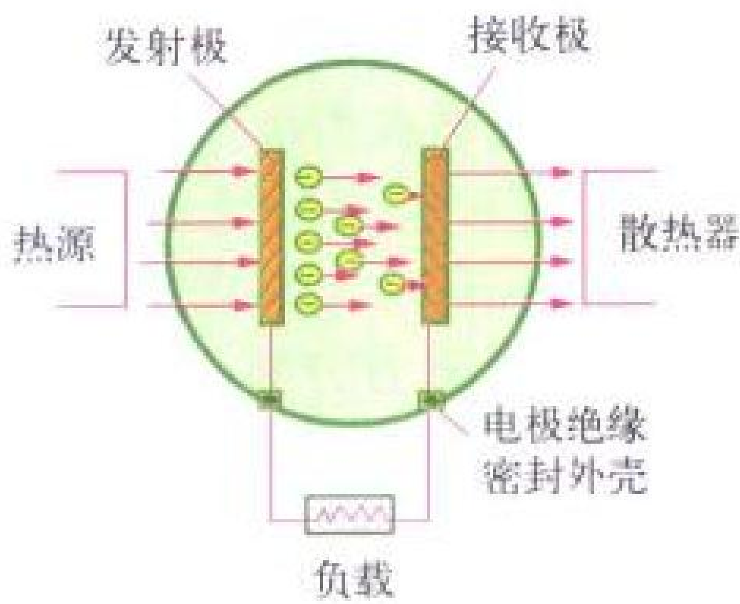
热核武器次级的中子预热　neutron preheating in the secondary of thermonuclear weapon　在热核武器次级的聚变燃料压缩、点火前来自初级爆炸的中子对次级照射造成的温升。有效的内爆压缩要求次级聚变材料系统的熵较低，中子预热将使熵增高，不但会降低次级的压缩度，而且由于对聚变材料系统的不对称加热会破坏次级的内爆对称性，可能造成严重后果。（撰写：郝绍唐　审订：徐遇新）

relizi fanyingdui dianyuan xitong

热离子反应堆电源系统　thermionic reactor power system　以热离子燃料元件为释热元件和发电元件的反应堆电源系统。它由热离子反应堆、辐射屏蔽、余热辐射器和辅助管道组成。反应堆可以是快中子反应堆或超热中子反应堆。前者无慢化剂、结构紧凑、体积小、防护屏蔽小、因无氢分解问题而寿命可以延长，但需用较多核燃料。目前实用的是后者，它用的核燃料较少，输出电功率一般在 100 kW 以下，采用氢化锆或氢化钇作慢化剂，用钠钾合金为冷却剂，用在失重条件下能正常工作的控制鼓控制反应性。燃料元件有两种：一种是将多个（5 个或更多）热离子转换器串联组成热离子燃料元件，另一种是较长的单个热离子转换器组成热离子燃料元件。这种系统属无转动部件的静态转换，力学扰动小，有利于卫星的姿态控制，提高了对跟踪目标的瞄准精度和图像的清晰度。它的热电转换效率比热电偶转换效率高，功率变化范围大（几千瓦到数百千瓦）。它可以与核推进结合，成为核推进和发电双模态反应堆，也可以将热离子转换和热电偶转换结合，组成电推进和发电双模态反应堆。本系统是曾使用的最先进的空间核电源。（撰写：杨继才　审订：苏著亭）

relizi nengliang zhuanhuanqi

热离子能量转换器　thermionic energy converter　又称热离子二极管。利用热离子发射现象将热能直接转换为电能的装置。它是目前静态热电转换效率最高的转换器。它由与热源连接的发射极、与散热器连接的接收极以及将两个电极隔离的绝缘密封外壳组成（见图）。电极间可以是高真空，也可以充入合适的稀薄金属蒸气。目前空间反应堆中用的热离子转换器内充入容易电离的铯蒸气（压力0.2～0.5 kPa），用以中和电极空间电荷和降低电极表面电子逸出功。与真空热离子转换器相比，其发射电流密度可提高几个数量级。热离子转换器的发射极工作温度一般为 1600～2000 K，接收极一般为 700～1000 K。发射极基体材料用合金化单晶钼、发射层选用有（110）晶面取向的钨，接收极选用钼或铌制成。苏联发射上天的 TO П A З 型热离子反应堆就是以核燃料裂变能加热发射极的热离子转换器作发电元件的。（撰写：杨继才　审订：苏著亭）



热离子能量转换器示意图

rejie ranshao

热解燃烧　pyrolysis combustion　放射性废物中有机成分先在O_2不足或不活泼气体（N_2）的反应室热解成挥发性气体，然后进入有过量空气的燃烧室完全燃烧的一种焚烧处理方式。它是把固体废物或有机废液转化成气态成分进行燃烧，是控制空气焚烧的一种。其优点是燃烧完全程度高，适合焚烧塑料、橡胶物含量高的废物和废有机溶剂等。另一个优点是燃烧过程的释热速度不随废物热值不同而有大波动，易于控制。此外，由于一次空气的流量小，气流的扰动影响低，所以带出的飞灰量少，烟气净化负担轻。中国原子能科学研究院开发的焚烧有机废溶剂和中国辐射防护研究院开发的焚烧混合固体废物焚烧炉，都属于热解焚烧炉如图所示。


德国 NUKEM 热解焚烧炉

（撰写：罗上庚　审订：范显华）

rekuosan fenlifa

热扩散分离法　thermal diffusion separation method　利用两种气体（或同位素）混合物中存在温度梯度时产生的分离效应而进行分离气体（或同位素）的方法。通常，重的、一般也是大的分子在低温处被富集。而轻的、小一些的分子在高温处富集。对于同位素混合物来说，一般分离效应是很小的，如果以热扩散柱的形式利用热环流可以将很小的径向分离效应沿轴向倍增起来。最大规模的热扩散装置是在二次世界大战期间，美国的 Mahattan 计划为了分离铀同位素曾建成了由 2100 根热扩散柱组成的以液体 UF_6 为介质的级联。此级联将 ^{235}U 的丰度从天然的 0.711% 提高到 0.86%，并将此产品作为电磁分离器的供料生产高浓缩铀。但此级联由于效率不高而最终被关闭。作为热扩散分离方法曾经分离过多种同位素，如 H_2,D_2, ^{3}He, ^{4}He, ^{13}C, ^{15}N, ^{17}O, ^{18}O, ^{21}Ne, ^{22}Ne, ^{37}Cl 等。热扩散法装置简单，几乎无须专人管理，因而对于某些轻的、中等质量的或惰性气体的同位素的分离仍然是一种方便的方法。（撰写：应纯同　审订：刘广钧）

repingheng jisuan

热平衡计算　heat balance calculation　根据能量守衡原理从热平衡实验求得反应堆热功率的计算。反应堆中单位时间的裂变数乘以每次裂变释放的热能值即为反应堆的热功率。通常用装在堆外的硼电离室作为测量反应堆功率的手段。在一定条件下，电离室电流值与该处中子注量率成正比，因而也与反应堆功率成正比。为了确定此比例系数，需要对电离室作"标定"，就是做热平衡实验。即根据能够测得的二回路参

数来反推反应堆功率。以压水堆为例，在蒸汽发生器排污流量为零时，可由以下两关系式求得反应堆功率：$W = W_{SG} - W_{add} + C$，$W_{SG} = Q_f(H_v - H_f)$。式中 W 为反应堆热功率；W_{SG} 为蒸汽发生器输出的热功率；W_{add} 为冷却剂泵和稳压器电加热器向核蒸汽供应系统输入的热功率；C 为核蒸汽供应系统热损失；Q_f 为给水流量；H_v 为蒸汽比焓；H_f 为给水比焓。

（撰写：刘道和　审订：钱锦辉）

reqidong

热起动　hot startup　反应堆处于热停堆状态下的起动。热起动包括碘坑过程中的起动。核电厂热起动过程需进行反应堆临界、汽轮发电机起动、并网发电及提升功率等操作。反应堆临界是指通过反应性控制手段使反应堆维持自持链式裂变反应的操作。汽轮发电机起动是指反应堆临界后，进行汽轮发电机及其辅助系统的起动准备，直到使汽轮机组升速并达到额定转速。并网发电及提升功率是指反应堆功率达到一定的功率水平后，将发电机并入电网运行，并逐渐增加反应堆功率到额定值。碘坑过程中的起动一般指在满功率运行后热停堆不久的起动。碘坑过程中起动的复杂性主要在于反应堆的临界操作，针对积毒、最大碘坑和消毒等不同阶段，须制定不同的反应堆临界操作方案，以避免起动困难和防止反应性引入速率过大而出现短周期事故。

（撰写：宫广臣　审订：钱锦辉）

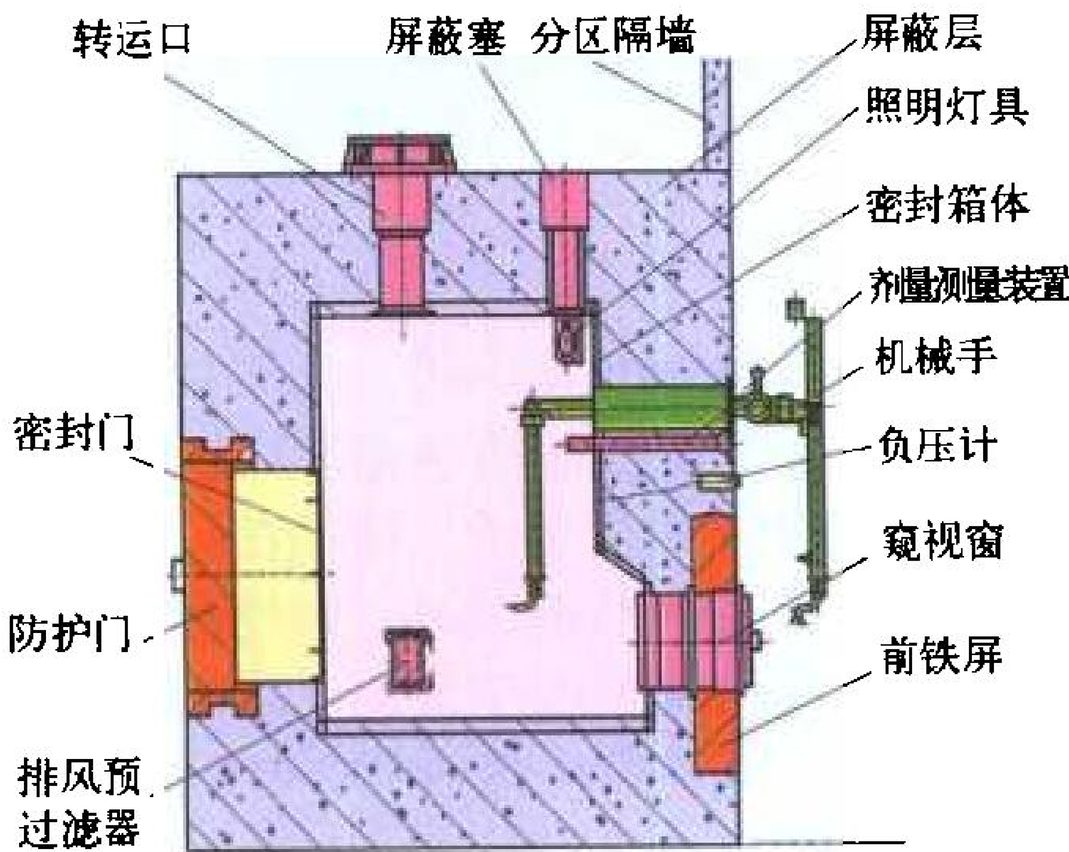
reshiyan

热实验　hot test　用实际的高放射性比活度的热物料对某种方法、过程、仪器和设备所进行的实验。在乏燃料后处理研究的各个阶段（包括工艺流程实验，设备台架实验等）的实验中，用乏燃料溶解的真实物料所进行的实验属于热实验。它是乏燃料后处理技术研究中的必不可少的重要环节。热实验应在必要的工作条件下，如手套箱、热室或设备室中进行。实验人员应按规定穿戴必要的防护用品，并实行对实验人员、工作场所和周围环境的辐照剂量和污染水平的监测。通过热实验，可以取得真实条件下，的确切数据，摸清强辐照场下的规律和问题，考验某种方法、流程、仪器和设备的适应性能，为工程采用的方法、流程、仪器和设备的设计提供可靠的依据，也为工厂实际运行提供有价值的参考。

（撰写：章泽甫　审订：朱永𬀩）

reshi

热室　hot cell　用以操作强放射性物质的配备窥视窗和隔离操作工具的厚屏蔽密闭室。如图所示，通常热室有一个不锈钢密封箱体，在密封箱体外有一层厚的重混凝土、铸铁或铅砖等构成的屏蔽层。热室中有照明装置。通风系统保持热室一定的负压值和换气次数。热室的类型很多，常用于反应堆辐照过燃料和材料的检验、研究，后处理的试验、取样分析和生产，放射化学，冶金，放射性同位素的研究、生产，核废物处理，核设备的检查、去污、检修等。

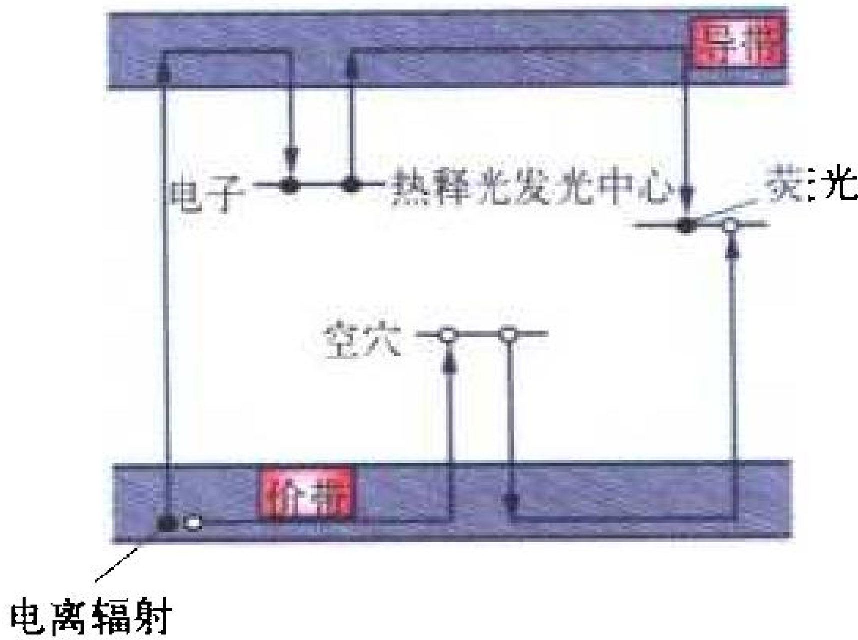


热室示意图

（撰写：许源振　审订：郑华铃）

reshiguang tanceqi

热释光探测器　thermoluminescent detector　又称储能探测器。一种利用热释光材料构成的核辐射探测器。热释光材料被射线照射后，在晶体中所产生的电子或空穴被陷阱俘获，形成潜在的发光中心，把辐射能量较长期地保存起来。当对热释光材料加热时，电子或空穴会从陷阱中激发出来，与发光中心复合而发出荧光，即热释光（见图）。热释光是随着加热温度的不断升高而逐渐发出的。发光强度随加热温度的分布称为发光曲线。由于存在着不同能级深度的陷阱，发光曲线常呈单峰、双峰或多峰。在一定剂量范围内材料所受到的剂量正比于潜在发光中心的密度，因而也就正比于总发光量。测定总的发光产额即可确定总的累积剂量。常用的热释光材料有 LiF (Mg, Ti)，LiF (Mg, Cu, P)，$CaSO_4$ (Tm)，CaF_2(Tm) 等。热释光探测器有粉末、棒状、片状以及玻璃管封装等形状。热释光探测器具有灵敏度高，线性范围宽，体积小，重量轻等优点，可用于个人和环境辐射监测以及体模内吸收剂量分布的测量。热释光的加热通常有电热式、热风式、红外或激光等。热释光的测量通常有单光电子测量和弱电流测量两种方式，单光电子方式灵敏度高。由于一些天然物质具有热释光性质，热释光技术还被用于事故剂量学、考古及地质断代学等领域。



热释光原理图

●—电子；○—空穴

（撰写：马吉增　审订：张延生）

re tingdui

热停堆　hot shutdown　反应堆冷却剂温度和压力均处于热态的一种次临界停堆状态。以压水堆为例，在热停堆状态下，保持安全停堆棒组在堆外，冷却剂硼浓度应保证一定停堆深度，冷却剂温度通过蒸汽旁路系统进行调节，压力由稳压器控制。

（撰写：宫广臣　审订：钱锦辉）

retongdao

热通道　hot channel　堆芯内最逼近热工安全参数限值的冷却剂通道，通常也是堆芯内受热最大的冷却剂通道。堆芯热通道内的冷却剂温升最高，如果有沸腾，其出口空泡份额最大。通常热点即在热通道内。不同类型的反应堆具有不同的热工安全限制参数，它可以是燃料包壳表面温度、燃料中心温度、燃料芯块比焓或偏离泡核沸腾比等，应该据此找出其相应的热通道。通常的做法是先将堆芯内各种参数平均化，得到一个假想的“平均通道”，再乘上一个考虑了释热、冷却剂流动、结构制

造公差等不均匀性的"热通道因子(hot channel factor)"，来求得热通道的热工参数。反应堆在运行过程中，由于燃耗或倒换料等原因，堆芯内热通道的位置可能会发生变化。

（撰写：李金才 审订：马昌文）

rewendingxing

热稳定性 thermal stability 废物固化体抵御热变化的能力。固化体经受的热变化可能来自外部，或来自其包容的放射性核素的衰变热。热稳定性包括自燃性、着火性、热挥发、热分解等，这特别是沥青固化体和聚合物固化体必须重视的问题。中低放废物固化体的放射性水平较低，衰变热不会对固化体构成实质性的危害。然而高放废液玻璃固化体的衰变热可使玻璃固化体在较长时间里始终处于较高的温度下，这可能导致以下危害：(1) 固化体表面与内部存在温差将产生热应力，可能使固化体碎裂，加快放射性核素浸出；(2) 从热力学的角度，玻璃是一种亚稳态物质，在一定温度下它有自发析晶倾向。由于晶体的膨胀系数与玻璃不同而出现裂缝，加快放射性核素浸出；(3) 如果衰变热使玻璃固化体处于高出软化温度的条件下，则贵金属重力沉降将导致玻璃固化体各向异性。为降低废物处置费用，通常希望固化体有高的废物包容量，然而高的废物包容量必然使衰变热增加，因此在选择废物包容量时应考虑固化体的热稳定性。在选择固化剂、包装容器以及贮存、处置条件时应考虑导热性和散热条件。

（撰写：汤宝龙 审订：罗上庚）

rewuran

热污染 thermal pollution 核电厂等核动力厂冷却回路带走的热量使受纳水体温度升高的环境污染问题。对于用海水或河水直接冷却的机组，有约 2/3 的核裂变能以热的方式进入受纳水体，使受纳水体在排放口及附近区域温度明显升高，在排放口的温升可高达 10℃。由于排放口附近温度升高，会引起局部生态变化，会使不游动的动、植物死亡。因此，对热污染要纳入到核电厂环境影响报告书的审批内容，要求给出排放口的最高温升，围绕排放口的温升变化图，特别是 4 ℃温升的范围。设施建成运行后，还要对实际冷却水排放产生的热污染进行长期观测，要对温升范围内的生态变化进行监测，务必使环境得到有效保护。万一出现意外情况，需调整排放方案或降低功率运行。

（撰写：赵亚民 审订：潘自强）

reyuanzi huaxue

热原子化学 hot atom chemistry 又称核转变化学。研究核衰变和核反应等原子核转变过程所产生的激发原子(或称热原子)与周围环境作用引起的化学效应的一门学科，是核化学的分支。核转变过程中释放的能量在产物(出射粒子和剩余核)中进行分配，得到能量后的剩余核成为热原子。有三种主要方式形成热原子并引起化学效应：(1) 原子反冲。核转变过程中的原子由于放射粒子而获得反冲能量，该原子称为反冲原子。反冲原子和周围物质相互作用，所经历的过程和反冲原子的动能有关，一般发射重粒子的核反应或核衰变的反冲原子动能大，足以使化学键断裂。可以把热原子化学中研究高能反冲原子(能使化学键断裂的反冲原子)与周围环境作用发生化学效应的部分叫反冲原子化学。研究较多的有反冲氚化学、反冲碳化学、反冲卤素化学和固相反冲原子化学等。(2) 空穴串级。如果核过程在电子壳层的内层引起电离（如电子俘获和内转换），则K层或L层会因失去电子而形成空穴，外层电子会填充这些空穴并产生俄歇电子，又产生新的空穴，一连串的俄歇过程形成空穴串级，结果使原子高度电离。累积的正电荷在该原子所在分子内再分布，使分子内带正电荷的部分之间产生强烈的库仑斥力，引起分子爆炸而使化学键断裂。(3) 电子震脱。在原子序数 Z 发生变化的核过程中，核外电子轨道会发生变化，当 $\Delta Z > 0$ 时（如 β^- 衰变），核电场强度增加引起电子壳层收缩，$\Delta Z < 0$ 时（如 α 和 β^- 衰变）电子壳层扩展。这种电子壳层的重排会引起电子的激发和电离，这一过程称为电子震脱。结果使部分电子处于高电荷态和激发态，从而引起化学效应。在各种核过程中，都可能存在这三种方式，但在某一过程中，有一种方式是主要的。将核转变过程中的核衰变单列出来，这部分研究内容称为核衰变化学。它显然是热原子化学的一部分。它是研究核衰变（包括 β^-, β^+, α 衰变、电子俘获、同质异能跃迁和内转换）过程与周围环境引起的化学效应。热原子化学研究的范围很广，涉及周期表中绝大多数元素。曾研究了 (n, γ), (n, p), (n, α), (n, 2n), (n, f), (γ, n), (γ, γ′) 等核反应的化学效应，以及 β 衰变、α 衰变、同质异能跃迁、K 电子俘获、内转换等各种衰变的化学效应。热原子化学对制备高比度放射性核素、标记化合物及放射性药物的合成有实用意义，对了解激发态原子反应的机理有重要理论意义。（撰写：罗文宗 审订：崔安智）

rezhongzi

热中子 thermal neutron 与所在介质处于热平衡状态的中子。也经常泛指能量在该范围的中子。标准的热中子能谱是麦克斯韦谱 $F(E)\,dE \propto \sqrt{E}\,\exp(-E/kT)\,dE$，其中 k 为玻耳兹曼常数，T 为中子温度。标准中子温度是 293.58 K (室温 20 ℃)，对应中子最可几能量是 0.0253 eV，与它相应的中子速度是 2200 m/s，中子波长是 0.1798 nm。中子能量为 0.0253 eV 是一个标准能量点，该能量下它和一些选定的原子核如 ^{10}B, ^{235}U, ^{239}Pu 等的某些核反应参数也是一种标准参数，例如：(n, γ), (n, f)反应截面等。热中子的波长与原子、分子的尺度及它们在固体、液体中的间距相当，而中子能量与它们的元激发能接近，因此热中子散射成为研究凝聚态物质的静态和动态特性的一种有力工具。（撰写：李景文 审订：丁大钊）

rezujian yinzi

热组件因子 hot-assembly factor 释热率最大的燃料组件与堆芯"平均"燃料组件的释热率之比。通常将堆芯释热区域按三维细网格划分成很多体元，用三维中子扩散方程求解释热分布，找出堆芯内释热率最大的热组件。通常，热点、热通道都在热组件内。反应堆在运行过程中，由于燃耗或倒换料等原因，热组件在堆芯内的位置可能改变。从而热组件因子也会随之变化。（撰写：李金才 审订：马昌文）

rengong fangshexing

人工放射性 artificial radioactivity 人工放射性核素具有的放射性。这种现象是由法国科学家 F．约里奥 (Joliot) 和 I．居里 (Curie) 于 1934 年发现的。他们在研究用钋的 α 射线轰击铝产生的正电子射线时发现，即使在 α 射线源移去后，最初几分钟之内仍有正电子放出，并测出其半衰期约 3.5 min。他们认为这是通过核反应 ^{27}Al (^4He, n) ^{30}P 生成了具有放射性的 ^{30}P，它以放射正电子的方式衰变为 ^{30}Si。后来他们又用放射化学方法分离出了 ^{30}P。人工放射性的发现开创

了人工合成放射性核素的研究领域。现今人们已合成出2000种以上的人工放射性核素。

（撰写：郭景儒　审订：崔安智）

rengong fangshexing cejing

人工放射性测井　artificial radioactivity (radioactive) logging (log)　采用人工辐射源发射的中子或γ射线作用于钻井壁出露的岩石，激发出次生辐射并进行测量，以查明井壁矿体位置、品位或解决其他地质问题的测井方法。其中有：(1) 瞬发裂变中子测井 (PFN)，测量 ^{252}Cf 或其他中子源发射的快中子在井壁岩石中慢化成热中子后使 ^{235}U 裂变释出的瞬发裂变中子，可直接确定岩（矿）石中的铀含量；(2) 缓发裂变中子测井 (DFN)，测量中子源发射中子导致 ^{235}U 裂变释出的缓发中子，可直接确定岩（矿）石中的铀含量；(3)中子—中子测井，测量中子源发射的中子流同岩层水作用后慢化成的热中子，可用于测量岩石孔隙度和寻找硼；(4) 中子—γ测井，记录中子源发射的中子流同岩石作用后释出的γ射线强度，用于鉴别核素；(5) γ－γ测井，记录同位素源发射的γ射线与岩（矿）石作用后产生的散射γ射线，用于测量钻井壁岩（矿）石的体重；(6) X射线荧光测井，测量钻孔中岩（矿）石受放射源激发后产生的特征X射线的照射量率，用以确定铀及其他元素的含量。　（撰写：蒋永一　审订：李家俊）

rengong fangshexing hesu

人工放射性核素　artificial radioactive nuclide　借助于核反应堆和带电粒子加速器等手段由人工产生的放射性核素。这些核素在进行放射性衰变时除自发地放出α粒子、β粒子或γ射线外，尚有其他衰变形式，例如发生自发裂变等。最早采用人工的办法产生放射性核素，是1934年约里奥·居里 (Joliot Curie) 夫妇通过α粒子轰击铝时实现的

$$^{27}_{13}\mathrm{Al} + ^{4}_{2}\mathrm{He} \longrightarrow ^{30}_{15}\mathrm{P} + \mathrm{n}$$

通过这一核反应得到了人工放射性核素^{30}P。利用核反应堆制备人工放射性核素主要有两种途径：一是利用堆内强中子流照射靶核，靶核俘获中子而生成放射性核素；二是利用中子引起重核裂变，从裂变产物中提取放射性核素。加速器制备人工放射性核素主要是通过带电粒子引起靶核产生核反应生成放射性核素。核反应堆与带电粒子加速器制备放射性核素现都已形成规模。　（撰写：吕延晓　审订：卢玉楷）

rengong fangshexing shuaibianxi

人工放射性衰变系　decay series of artificial radionuclide　一个包含若干人工放射性核素的系列，该系列中，每一种核素通过放射性衰变（不包括自发裂变）转变为下一种核素，直到形成一种稳定核素。衰变系又称放射系或衰变链。随着放射性核素的分析测定技术的不断发展，发现了镎系和一些其他分支放射性衰变系和许多裂变产物衰变链。分支放射性衰变系如

$$^{232}\mathrm{Pu} \xrightarrow[34.1\ \mathrm{min}]{\alpha} {}^{228}\mathrm{U} \xrightarrow[9.1\ \mathrm{min}]{\alpha} {}^{224}\mathrm{Th} \xrightarrow[1.05\ \mathrm{s}]{\alpha}$$

$$^{220}\mathrm{Ra} \xrightarrow[13.5\ \mathrm{ms}]{\alpha} {}^{216}\mathrm{Rn} \xrightarrow[45\ \mu\mathrm{s}]{\alpha} {}^{212}\mathrm{Po} \xrightarrow[298\ \mathrm{ns}]{\alpha} \text{进入钍系}$$

裂变产物衰变链进行β^-、β^-(EC) 等衰变，有些还有缓发中子发射，从质量数66起到172止，有100多条，链成员现在已发现并确定的一般有9个，个别长的有10到11个。随着分析技术的进步，还会发现新的裂变产物核素，链长还可能增加。下边给出质量数为129的裂变产物衰变链

$$_{48}\mathrm{Cd} \xrightarrow[0.27\ \mathrm{s}]{\beta} {}_{49}\mathrm{In} \xrightarrow[0.61\ \mathrm{s}]{3} {}_{50}\mathrm{Sn} \xrightarrow[2.22\ \mathrm{min}]{\beta^-} {}_{51}\mathrm{Sb} \xrightarrow[4.4\ \mathrm{h}]{\beta}$$

$$_{52}\mathrm{Te} \xrightarrow[69.6\ \mathrm{min}]{\beta} {}_{53}\mathrm{I} \xrightarrow[1.6\times10^{7}\ \mathrm{s}]{\beta} {}_{54}\mathrm{Xe} \xleftarrow[1.3358\ \mathrm{d}]{\beta^-} {}_{55}\mathrm{Cs} \xleftarrow[2.23\ \mathrm{h}]{\beta} {}_{56}\mathrm{Ba}$$

（撰写：张丕禄　审订：郭景儒）

rengong fangshexing yuansu

人工放射性元素　artificial radioactive element　最初通过人工核反应合成而被鉴定的放射性元素。它们是锝、钜、砹、镎、钚、镅、锔、锫、锎、镄、钔、锘、铹、𬬻、𬭳、𬭛、𬭶、鿏。1937年意大利C.佩列尔 (Perrier) 和美国E.G.塞格雷 (Segre) 用回旋加速器加速的氘核轰击钼靶，通过核反应 ^{98}Mo (d, n) ^{99}Tc合成了锝。这是人类首次用人工的方法制造出来的元素。1940年美国化学家E. M. 麦克米伦 (McMillan) 等发现了镎，G. T. 西博格 (Seaborg) 等发现了钚，开始了超铀元素的合成。人工放射性元素是通过人工核反应合成的。合成的方式有：反应堆中子辐照合成，从辐照过的核燃料中提取，用加速器加速粒子轰击合成以及核爆炸合成。

（撰写：张志尧　修订：罗文宗　审订：崔安智）

renwei wucaozuo

人为误操作　human error　由于人员不恰当的操作行为导致的失误，这类失误引发的事件通常也称之为“人因事件”。人为误操作常常有以下一些直接原因：不执行规程、操作时走错间隔、工作指令不规范和记录缺陷等信息交流失误、工作准备不足、从事无授权或与授权范围不一致的维修活动以及因知识和技能上的缺陷对故障或异常采取不恰当的干预等。为了避免人为误操作，核电厂通常采取的措施有：工作票制度、对安全相关设备实施行政隔离制度、对重要运行活动实施操作监护制或独立验证制以及针对人因事件的各种直接原因和根本原因采取相应纠正行动。

（撰写：金光奎　审订：钱锦辉）

renyin gongcheng

人因工程　human factor engineering　研究工业系统中人—机关系、使操纵人员发挥最佳作用的学科。在核设施设计中，人因工程研究如何使操纵人员有效运用仪器设备。核设施人因工程的内容包括操纵员的特性、教育和训练以及客观条件等方面。在操纵员特性方面，人因工程研究人—机接口设计中人体尺度、习惯选择、感官能力、信息处理能力以及年龄、经验、文化水平和情绪控制能力等方面。教育和训练方面涉及到核设施工艺过程以及标准和法规教育、主设备性能知识教育、主控制室各种设备的知识教育以及运行或事故处理的操作训练。在客观条件方面，人因工程研究人—机接口、标准和操作规程、环境因素等。人因工程内容是否完善，是以操纵人员行为以及完成任务过程中存在的风险来衡量的。其中操纵人员的素质是人因工程的重要内容。

（撰写：俞尔俊　审订：陈叔平）

renyuan jiliang jiance

人员剂量监测　personnel dose monitoring　对战时军队人员早期核辐射与剩余核辐射的外照射累积剂量和为评估内照射剂量的放射性核素活度的控制性监测。后者通常包括对人体

皮肤表面和体内已摄入以及排泄物的放射性核素活度的测量，以及对关键器官吸收剂量的评估。人员外照射累积剂量监测按其目的可区分为群体剂量监测（又称战术剂量监测）和个人剂量监测（又称卫勤剂量监测）。群体剂量监测在于了解掌握部（分）队辐照史，根据急性放射性损伤的剂量与效应关系区分不同的辐照等级，控制辐照剂量。个人剂量监测主要为人员的放射病分类和急救、治疗提供依据。对早期与剩余核辐射的群体和个人剂量监测，都以军用核辐射［个人］剂量仪测得的γ辐射与中子的累积剂量为依据。　（撰写：毛用泽）

renyuan zaoqi hefushe fanghu

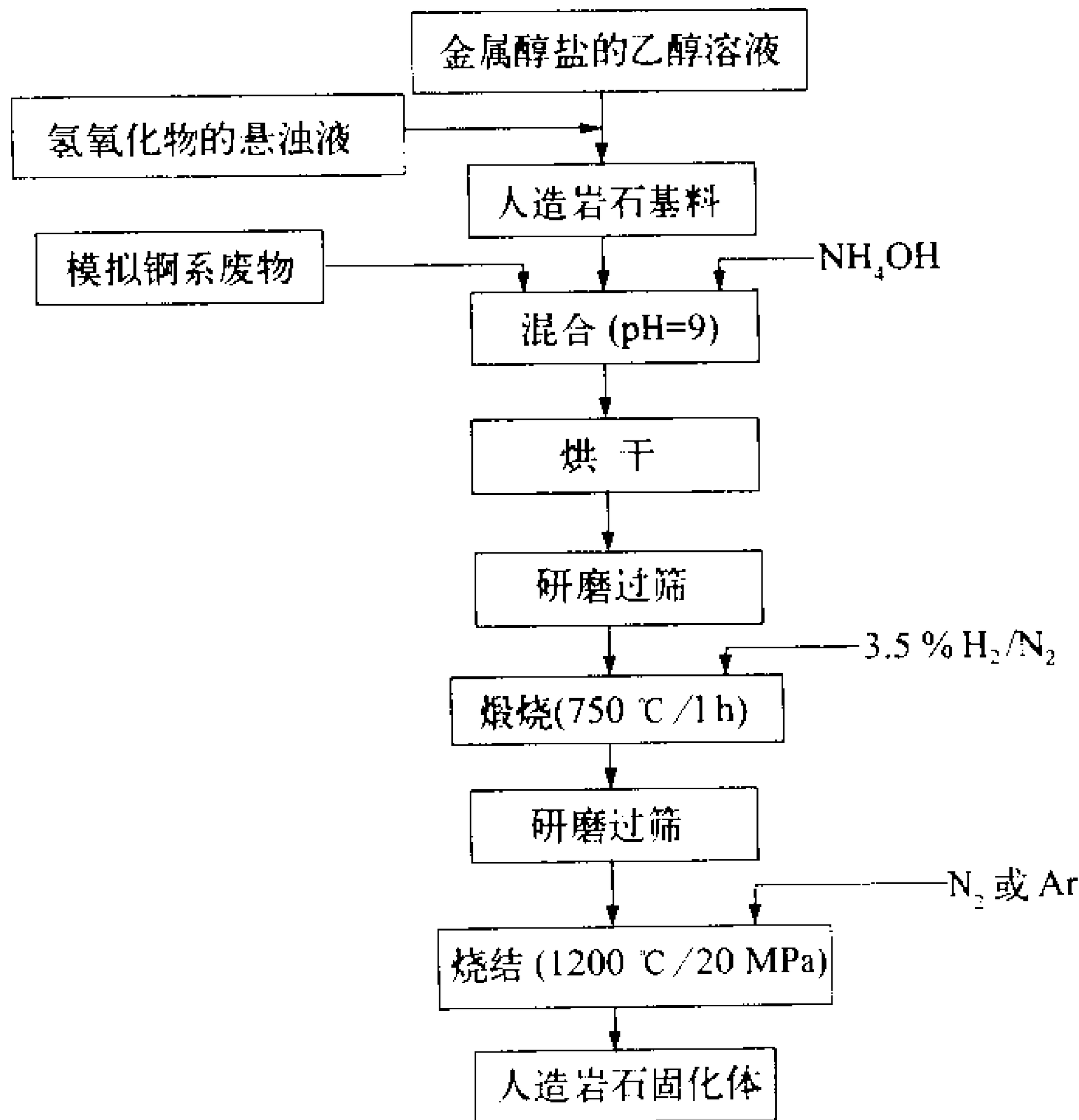
人员早期核辐射防护　personnel protection from initial nuclear radiation　避免或减轻人员遭受核爆炸早期核辐射毁伤的防护措施。人员受照的个人吸收剂量 $D_p(10)$ 低于 1Gy 时，一般没有明显病变；受照剂量更多时，会使机体生理机能改变和失调，发生急性放射病。防护措施：在核条件下作战应随时预先构筑不同类型的工事，以保证有足够的屏蔽层来防护早期核辐射。部队人员在行动时，尽量乘坐具有一定装甲的运载工具，以减少辐照剂量。对预计可能遭受早期核辐射高剂量照射和已照射高剂量的人员，及时使用抗辐射药，以降低核辐射引起的损伤和提高生存率、治愈率。指战员应配发核辐射（个人）剂量计，测定每人的受照剂量，估算班、排等部（分）队的群体剂量与受照等级，为指挥员了解部（分）队在核条件下的战斗力、计划尔后的部（分）队辐照剂量提供依据。对受照超过控制水平的人员要进行医疗监护，对已出现急性放射病症状者应及时精心治疗。

（撰写：王　坚　审订：毛用泽）

renzao yanshi guhua

人造岩石固化　synroc solidification　通过高温固相反应制造一种热力学稳定的、多相矿物固溶体，使放射性废物中大部分元素直接进入矿相的晶格位置，一部分废物元素被还原成金属单质，包容于合金相中的固化工艺（见图）。根据不同包容对象进行设计、制造的人造岩石有不同的矿相组成。例如，包容锕系元素废物的人造岩石，主要矿相是钙钛锆矿（占80%）；包容动力堆高放废液的人造岩石，主要矿相有4种：钙钛锆石、碱硬锰矿、钙钛矿和金红石。离子半径较小的锕系和重稀土离子易进入钙钛锆矿中，离子半径较大的锕系和轻稀土离子易进入钙钛矿中。人造岩石固化为化学结合，具有包容性好、致密度高、耐水性好、核素浸出率低、抗辐照性和热稳定性好等优点。人造岩石固化是澳大利亚地质学家林伍德（A.E.Ringwood）教授发明的。澳大利亚核科学和技术组织（ANSTO）已于1987年率先在世界上建成生产能力为10 kg/h人造岩石固化体的验证装置。现在，人造岩石固化的应用范围和工艺技术都在发展中。除了固化高放废物外，它可用来固化锕系元素、高活度 ^{99}Tc、高活度 ^{90}Sr 和 ^{137}Cs，准备直接处置的乏燃料及武器级钚等。

（撰写：罗上庚　审订：范显华）



人造岩石固化工艺流程图

renwu caozuo jiance

任务（操作）监测　task (operational) monitoring　旨在为特定的任务（操作）提供有关操作管理的即时决策或辐射防护最优化所需的相关资料而进行的一种非常规性监测。这种监测所获得的资料可以为如何进行该项任务（操作）提供指导。这类监测对于为那些不适宜在连续长期运行条件下采用的短期操作方法提供指导是特别有用的。从所采用的监测方法来讲，任务（操作）监测与通常的常规监测一般并没有原则性的差别，但假若出现了明显不同的情况（例如操作的核素种类改变了，或者发生污染或受照的可能性明显变化了），那么任务监测必须有针对性地采用合适的方法。按照监测对象的不同，任务（操作）监测可以分为对环境、流出物、对工作场所以及对人员的监测。　（撰写：夏益华　审订：胡遵素）

renzhi fushe

轫致辐射　bremsstrahlung　带电粒子在外加电场或磁场的作用下运动发生改变而产生的电磁辐射。通常是指带电粒子在物质中穿行时，在与原子碰撞而被阻止的过程中产生的电磁辐射。带电粒子在磁场中也会因运动方向改变而产生电磁辐射，被称为磁轫致辐射，但更经常被称为同步辐射、回旋辐射，这是因为它是在同步回旋加速器上发现的。轫致辐射的频谱分布是一个不对称的钟形，从零到一个与带电粒子能量相关的最大值。辐射强度最大处的频率与带电粒子的相对论因子γ（粒子的总能量与静止质量之比）的三次方成正比，与场强成正比。轫致辐射基本集中在带电粒子运动轨迹的切线方向，出射角宽度与γ成反比。相对论带电粒子在物质中穿行时，轫致辐射是其能量损失的主要机制。其能量损失率与带电粒子的电荷与物质的原子序数的乘积之平方成正比，与带电粒子的质量平方成反比。因此对于电子，这种能量损失机制很重要。　（撰写：施义晋　审订：丁大钊）

renzhi fusheyuan

轫致辐射源　bremsstrahlung source　一种依赖放射性物质发射出来的高速β粒子打到原子序数较高的靶材上，电子为物质所阻止而改变运动方向和运动速度时，将其部分动能变为电磁辐射（称作轫致辐射）的放射源。轫致辐射源属于一种

几种常用的轫致辐射源

核　素	靶　材	轫致辐射能量 /keV	透射测量的有效射程 /mm	
			在铝中	在铁中
^{3}H	Ti	4～8	0.002～0.15	0.002～0.03
	Zr	5～9		
^{85}Kr	C	30～80	10～40	2～10
$^{90}Sr-^{90}Y$	Al	20～150	10～40	2～10
^{147}Pm	Al	10～40	0.15～10	0.03～2
	Ag	20～40		

低能光子源。这种放射源的轫致辐射强度和能谱主要决定于β粒子的能量及靶材料（吸收物质）的原子序数。β射线能量愈高，吸收物质的原子序数愈大，则轫致辐射也愈强。轫致辐射与β粒子能谱相似，也具有连续能谱。表中列出了几种常用的轫致辐射源。（撰写：吕延晓　审订：蔡善钰）

RIA pohuai de bihan yuzhi

RIA 破坏的比焓阈值 enthalpy-threshold of RIA induced fuel failure 在严重的反应性引入事故下，UO_2 芯体单位质量的热能集聚至某一极限数值而没有发生元件迅速破碎的危险，则此能量值（以单位质量燃料的焓值表示）称为 RIA 破坏的比焓阈值。若燃料比焓超过该阈值，元件有可能被瞬时炸碎。燃料比焓应小于 RIA 破坏比焓阈值，这是燃料元件设计的一条重要准则。如果燃料径向平均能量超过这个阈值，则应假定"堆芯破坏"(参见反应性引入事故)。

（撰写：张忠岳　审订：黄玉才）

rongji cuiqu

溶剂萃取 solvent extraction 两个不互溶或基本上不互溶的液相互相接触，利用各组分在两液相间不同的分配关系，通过相间传质使物质从一相转入另一相，以实现组分间分离的过程。溶剂萃取又叫做液一液萃取，一般情况下又简称萃取。在核燃料循环中，溶剂萃取已广泛用于浸出液的铀回收、铀纯化、乏燃料后处理以及裂变元素的分离等工序。

（撰写：牛玉清　审订：程光荣）

rongji zaisheng

溶剂再生 solvent regeneration 在溶剂萃取过程中对使用过的溶剂进行处理恢复原始状况的过程。循环使用的溶剂由于辐射和化学降解形成的降解产物使铀、钚的净化和收率下降，严重时使萃取过程无法进行。为此，必须进行溶剂再生，即采取一定的措施从污溶剂中去除有害的降解产物（如磷酸二丁酯、磷酸一丁酯）和保留的痕量铀、钚和裂变产物元素（如锆、钌），恢复溶剂的萃取性能。通常使用的方法有碱一酸洗涤净化法，急骤蒸馏净化法和大孔树脂净化法等。

（撰写：杨鑫荣　审订：郑华铃）

rongjiao ningjiao gongyi zhibei ranliao xinhe

溶胶一凝胶工艺制备燃料芯核 manufacturing fuel kernel with sol-gel process 用胶体化学的原理制备陶瓷燃料（UO_2, PuO_2, ThO_2 及其混合物）芯核的方法。首先制备含燃料的胶体溶液（溶胶），然后通过化学或机械等方法分散成形，经胶凝反应得到凝胶微球，再经洗涤、陈化、干燥、煅烧和烧结等工序制得燃料芯核。按照反应类型的不同，胶凝过程有内胶凝法和外胶凝法两种。内胶凝法的溶胶中，已含有胶凝化学反应所需的必要试剂，如硝酸铀酰、尿素和六次甲基四胺（HMTA）。该溶液呈弱酸性，在室温下不稳定。把处于低温（< 10 ℃）的这种溶胶通过振动喷嘴向 90 ℃硅油分散成形时，几秒内即发生水解反应，生成 $UO_2(OH)_2$ 凝胶微球。外胶凝一沉淀法的溶胶中，含有硝酸铀酰、有机添加剂和聚乙烯醇，把它向氨中分散成形时，发生胶凝反应。胶凝反应首先在液滴表面开始，再向内部发展。全胶凝法是新近发展的一种工艺，它也采用内胶凝剂 HMTA，但是，它是在 $UO_2(NO_3)_2$ 和尿素水解以后加入，因此，此溶胶能够在室温下稳定。溶胶一凝胶工艺具有工序少、无粉尘、适于远距离操作、得到的芯核质量好、尺寸分散度小和易烧结等特点。该工艺已用于高温气冷堆燃料元件的燃料芯核的制备。

（撰写：邱学良　审订：李文埃）

rongjin fanwei kongzhi

溶浸范围控制 excursion control in in-situ leaching 地浸采铀过程中将溶浸液控制在允许的含矿含水层中运移的范围之内。因为注入矿层的溶浸液既不能漏失也不能被大量稀释，又必须使开采范围之内矿石能与溶浸液充分接触而不出现"溶浸死角"。这些技术统称溶浸范围控制技术，又称溶浸范围控制。控制溶浸范围所采取的主要措施有：(1) 控制井场整体和局部抽注液量基本平衡（实际抽液量大于注液量 1% 左右），利用抽注平衡的原理防止溶浸液向矿层外围扩散；(2) 在溶浸区外围布置适量抽液孔，使外围地下水向浸出边界流动；(3) 调整抽注液压力和抽注液流量大小，控制地下水流方向；(4) 通过计算机模拟，调节并控制溶浸液运移范围。

（撰写：苏学斌　审订：李开文）

rongjinye

溶浸液 lixiviant 由溶浸剂、氧化剂和水（或地浸吸附尾液）按一定比例配制而成的溶液。溶浸液的配制包括溶浸剂选择及其浓度的确定、氧化剂选择及其浓度的确定以及不同浸出阶段溶浸液实用方法等。根据溶浸剂的不同，地浸采铀可分为酸法地浸和碱法地浸。酸法地浸的溶浸剂有：硫酸、硝酸、盐酸等。硫酸是酸法地浸广泛使用的溶浸剂，溶浸剂配制浓度一般为 5～20 g/L 硫酸，酸法地浸一般适宜碳酸盐含量（以 CO_2 计）小于 2 %的矿床。碱法地浸的溶浸剂有：Na_2CO_3，$(NH_4)_2CO_3$, $NaHCO_3$, NH_4HCO_3 等。碱法地浸适合碳酸盐含量高的矿床。另外，美国地浸矿山还使用了 CO_2+O_2 气体混溶于水作为溶浸剂。地浸采铀氧化剂主要有：氧气（或空气）、过氧化氢、三价铁盐、含氮氧化物、硝酸盐、氯酸钠、软锰矿等，目前普遍使用的氧化剂是氧气、过氧化氢和硝酸盐。

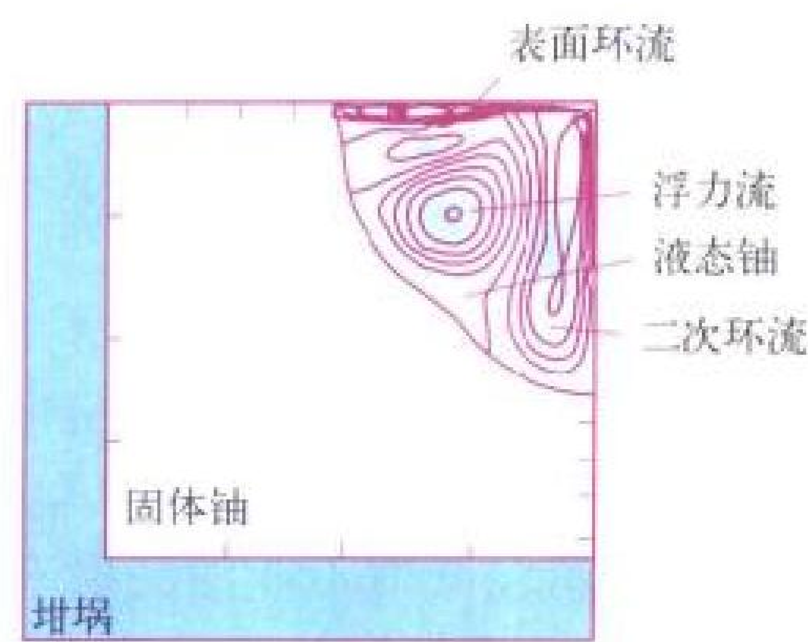
（撰写：苏学斌　审订：李开文）

rongzhang zuoyong

溶胀作用 swelling 固化体因吸收溶剂而发生体积膨胀的现象。固化体（如水泥、沥青、聚合物固化体）在贮存特别是在长期处置过程中可能会遇到水的浸泡而导致固化体体积膨胀，膨胀程度的大小直接影响固化体的性能。对不同固化体，可允许的膨胀率也不同。如在 20～25 ℃下，浸泡 90 天，要求塑料固化体和沥青固化体的体积膨胀率，分别不大于 5% 和 10%。固化体的溶胀性与固化基材、固化对象、固化体的包容量等因素有关。如废树脂的水泥固化体受水浸泡后，树脂的溶胀性很大，膨胀压很高，会导致固化体抗压强度下降，固化体出现龟裂，核素浸出率增高。为保证废树脂水泥固化体的性能符合处置要求，往往采取降低包容量或对废树脂进行预处理等办法。（撰写：范显华　审订：罗上庚）

rongchi liuchang

熔池流场 flow field in molten pool 液态金属熔池内部的流动状态。由电子枪加热和坩埚的冷却在熔池表面形成温度梯度，引起表面张力发生变化，使熔池表层产生表面环流（热毛细流）。电子枪加热的熔池表面中心温度最高，因此由液面至熔池内形成温度梯度，引起液态金属密度发生变化，形成浮力流。在不同的电子枪加热功率和坩埚冷却条件下，由这



有固—液面界面熔池的流场图

两种流动形成的熔池流场是不同的。熔池流场对金属原子的蒸发有很大影响。（撰写：王德武　审订：应纯同）

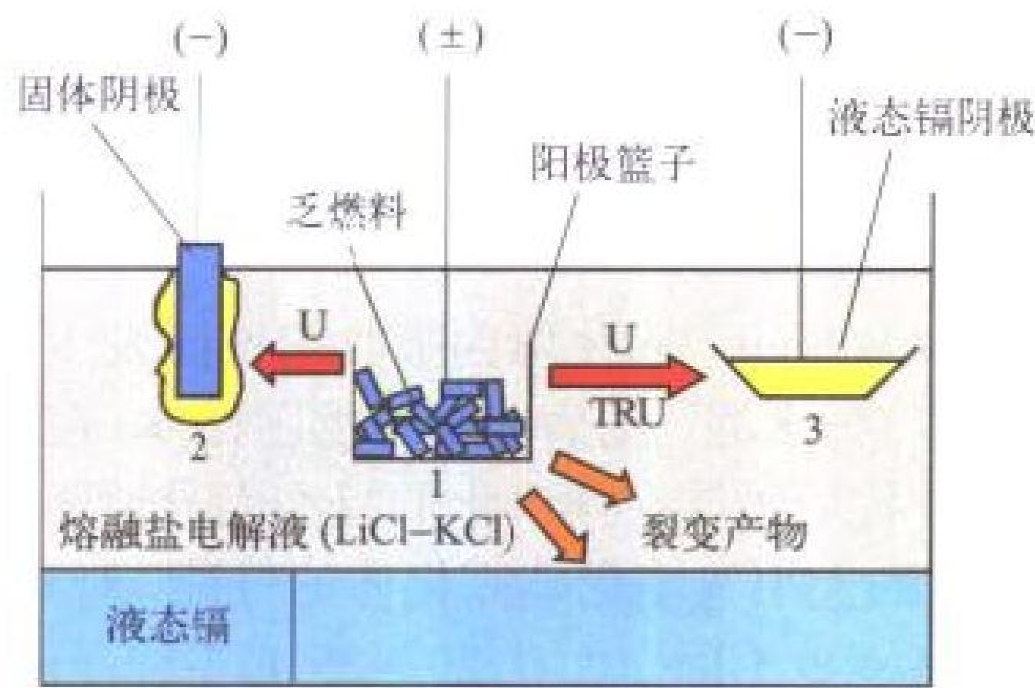
rongchi wenduchang

熔池温度场 temperature field in molten pool 液态金属熔池内部温度分布特性。电子枪加热坩埚中金属形成熔池。在坩埚水冷条件下整个熔池会以电子束作用点(熔池表面中心)为中心向熔池内形成温度梯度。温度场分布受电子枪加热功率、坩埚冷却条件以及熔池表面环流速度的影响。熔池温度场对熔池流场及传热情况起重要作用。

（撰写：王德武　审订：应纯同）

rongyan dianjie liucheng

熔盐电解流程 molten salt electrorefining process 是高温冶金燃料后处理方法的一种。用熔融盐做电解液，用电解的方法使乏燃料中的铀、钚与裂变产物元素分离。它是基于各元素在一定介质(如熔融氯化物)中形成不同电位的金属—离子对，适当调节电位就可将铀或超铀元素有选择地从金属相转移到离子相(熔盐相)，或从离子相转移到金属相，实现锕系元素之间或它们与裂变产物元素的分离(见图)。电解法不仅



乏金属燃料熔盐电解简图

1—剪切的乏燃料；2—铀沉积到固体阴极上；
3—U 和 TRU (超铀元素) 回收到液态镉阴极中

可以用于金属(或合金)燃料后处理，而且可能用于轻水堆或快堆的 MOX 燃料后处理。同时还正在发展为处理高放废液中锕系元素的一种方法。在干法后处理中它较有可能工程实现。（撰写：叶玉星　审订：朱永赌）

rubian fenxi

蠕变分析 creep analysis 考虑蠕变变形的结构应力和应变分析。蠕变是一种与时间有关的现象，在材料所受应力恒定不变的情况下，变形将随时间不断增加。因此，在考虑蠕变变形时，绝大多数结构应力应变分析都变成与时间有关的问题，由于应力应变分布随着时间不断发生变化，计算工作量很大。目前反应堆结构的弹性或弹塑性分析，通常都采用有限元法作数值解。如果蠕变变形不大，只需在弹性或弹塑性分析的各个应变分量中相应加入蠕变分量，即可对于逐个时刻进行与弹塑性计算类似的分析，计算仍限于线性范围。如果蠕变变形很大，往往转到必须考虑大变形、大位移的非线性分析，计算工作变得十分冗繁，所需计算时间也往往十分惊人。许多反应堆结构部件在高温和中子辐照情况下工作，蠕变速率、蠕变变形和结构挠度常随时间有所增大，结果往往导致上述非线性问题。在蠕变影响下，反应堆结构经常会遇到：(1)蠕变断裂；(2)蠕变与疲劳相互作用；(3)变形过大导致结构失效；(4)蠕变导致结构失稳；(5)不可逆蠕变变形不断积累使结构丧失正常功能等问题。对这些问题应作仔细分析。（撰写：栾林　审订：张忠岳）

ruili taile buwendingxing

瑞利—泰勒不稳定性 Rayleigh-Taylor instability 当低密度流体对高密度流体加速，加速度方向由低密度指向高密度时，界面处小扰动发生增长的不稳定性。激光或 X 光烧蚀靶丸时，在烧蚀面附近就会发生这种不稳定性。在内爆过程的后期，当高速聚心的流体运动在对称中心附近受到阻滞时，也会发生这种不稳定性。瑞利—泰勒不稳定性发展大致可分为三个阶段，线性阶段、非线性阶段和湍流阶段。在线性阶段，初始扰动以 e 指数增长。增长指数为

$$\gamma=\gamma_0-\beta k_m V_a \qquad \gamma_0=\left[\frac{Ak_m a}{1+k_m L_a}\right]^{1/2}$$

式中 $k_m=2\pi/\lambda_m$ 是扰动波数；a 为加速度；L_a 为烧蚀阵面附近密度梯度的尺度长度；$A\equiv(\rho_H-\rho_L)/(\rho_H+\rho_L)$ 是阿特伍德数；ρ_H 和 ρ_L 分别是重、轻介质的密度；V_a 是烧蚀速度；常数 β 根据不同情况，通常在 1～3 之间。由公式看出：烧蚀和密度梯度具有致稳效应。扰动增长进入非线性阶段，呈现出气泡(低密度流体进入高密度流体)和尖子(高密度流体进入低密度流体)的结构。非线性阶段继续发展会导致湍流状态和物质混合。（撰写：张钧　审订：常铁强）

ruili taile liutilixue buwendingxing zengzhang zhenduan

瑞利—泰勒流体力学不稳定性增长诊断 diagnostic for growth of Rayleigh-Taylor hydrodynamic instability 对瑞利—泰勒流体力学不稳定性引起的扰动增长的测量。用“X 射线阴影成像技术”直接测量该不稳定性引起的密度变化。系统由激光产生的背光X射线源和具有时间分辨的 X 射线成像记录系统组成(见图)。沿靶法线成像得到靶面密度分布变化；沿靶切线成像得到流体界面运动图像。对图像进行分析直接



我国“星光”2 激光装置进行的一次 RT 流体力学不稳定性实验靶场排布

得到增长系数。对球面上的三维扰动增长，可以通过示踪元素 X 光谱法测量进行分析。

（撰写：刘忠礼　审订：江文勉）

ruo chongjibo jujiao

弱冲击波聚焦　focusing effect of weak shock wave　远距离核爆炸的弱冲击波由于受气象条件影响，产生会聚加强的现象。聚焦效应主要决定于大气温度和风速随高度的变化。大气对流层以下，会出现温度随高度增加的逆温现象，在约 25～55 km 和 80 km 以上大气层中，通常会出现逆温。在中纬度 8～18 km 高度上，常年有一股很强的西风急流。在北半球中纬度地区 20～55 km 高度上，通常有随高度而增加的季节风。上述气象条件会导致空中冲击波在某一高度上折向地面，在距爆心数十到数百千米的空间和地面区域内会聚而大大加强，在聚焦区内可听到巨大的响声使门窗玻璃、民房等建筑物会轻度破坏，空中聚焦可影响飞机的飞行安全。

（撰写：乔登江　审订：吕　敏）

ruo dianliu fangdaqi

弱电流放大器　weak current amplifier　在射线测量中，常常要测量 10^{-7}～10^{-15}A 甚至更小的直流电流信号，显然，须要将待测电流加以放大或变换之后再进行测量。常用的方法有两种：用直流放大器放大弱电流流过高电阻上产生的压降；用交流放大器放大弱电流在动电容上产生的信号。

（撰写：李　政　审订：席德明）

ruo shengyu fangshexing wuqi

弱剩余放射性武器　reduced residual radioactivity weapon　又称 RRR 弹或冲击波弹。一种减少了剩余放射性、以冲击波效应为主要毁伤因素的特殊性能核武器。核爆炸的剩余放射性来源于：(1) 铀、钚等裂变核的裂变产物和未反应的核材料；(2) 核爆炸中子在弹体物质及周围环境中造成的感生放射性物质；(3) 残留的聚变材料氚。其中氚是氢的同位素，以气体状态存在，很少沉降至地面。因此减少剩余放射性的主要途径是：(1) 将裂变威力尽可能降低，这就一方面要降低氢弹初级的威力（因为初级的威力主要来自裂变），一方面要把次级设计成纯聚变或接近纯聚变；(2) 为减少中子感生放射性，要审慎选择氢弹的外壳材料和结构材料，使组成这些材料的原子核在俘获中子后不产生或少产生放射性产物，或用中子的强吸收核（如 ^{10}B）作屏蔽；(3) 尽量少用像钚那样毒性大的材料。1980 年美国劳伦斯·利弗莫尔实验室宣布研究成功了弱剩余放射性武器，并称这种武器的放射性沉降要比同威力纯裂变武器降低一个数量级以上，且光辐射效应的破坏作用也显著减少。这种武器的威力在 100 kt TNT 级，比较适合于战场上使用，如形成大弹坑破坏飞机跑道，破坏地下指挥所，或通过摧毁山口通道阻滞敌军行进。由于放射性沉降少，在爆后不久，己方部队即可进入爆区。这类爆炸装置也比较适合于核爆炸的和平利用。　（撰写：郑绍唐　审订：徐逭新）

ruo xianghu zuoyong

弱相互作用　weak interaction　见基本相互作用。



sanbu guangdianli

三步光电离 three-steps photoionization 在激光分离同位素中，采用三种波长的激光依次与原子相互作用，使其选择性电离的一种分离路线。即第一束激光将处于初始态的原子激发到第一激发态，第二束激光将处于第一激发态的原子激发到高激发态，然后用第三束激光将高激发态的原子电离，实现同位素分离。铀、钆、钼等原子的电离限均在 6 eV 左右。若采用的激光波长在可见光范围，那么每个光子的能量约为 2 eV，从基态到电离限一般要吸收 3 个光子。因此需采用三种频率的激光来实现同位素原子的选择性激发电离。目前，采用三步光电离模式分离的有：铀、钆、钚等同位素。

（撰写：王金月 审订：张志忠 应纯同）

sanfen liebian

三分裂变 ternary fission 生成三个核碎片而至少有两个碎片具有中等质量数的裂变现象。由 1946 年在法国工作的我国科学家钱三强和何泽慧首先发现。三分裂变的一种模式是除两个质量相近的重碎片外，第三个碎片是一个轻带电粒子（α、氚、氘和质子）或轻核（锂、铍、碳、氧等），称为伴随轻粒子的三分裂变。发射轻带电粒子的三分裂变概率约为二分裂变概率的 1/300，轻带电粒子主要在与碎片飞行方向成 90° 的方向上出射。研究这类裂变可以了解断裂时核的组态，有其特别的意义。三分裂变的另一种模式是分裂成三个质量上差不多的碎片，有时把这种三分裂变模式称为大三分裂。发生大三分裂的概率不仅随入射炮弹能量而增加，而且随着反应生成的复合核的裂变参数（Z^2/A）而增加。400 MeV ^{40}Ar 轰击 ^{232}Th 的大三分裂变概率可以达到二分裂变概率的 3 %。这种裂变的机制目前还没有完全研究清楚。

（撰写：韩洪银 审订：张焕乔）

santansuanyouxian'an

三碳酸铀酰铵 ammonium uranyl tricarbonate 铀的一种络盐，分子式写作 $(NH_4)_4UO_2(CO_3)_3$，其结晶是浅黄色单斜晶体，生产中称为 AUC 沉淀，密度为 2.830 g/cm³。三碳酸铀酰铵在水中的溶度积为 4.9×10^2，溶解度随温度升高而增加，随水溶液中铵离子浓度增加而降低，当溶液加热时分解生成 UO_2CO_3。三碳酸铀酰铵易溶于无机酸中，生成铀酰离子。三碳酸铀酰铵在空气中不稳定，在室温下会缓慢分解，当温度高于 360 ℃时，分解生成 UO_3；在惰性气体中，600 ℃时分解生成 UO_2，这一性质对于以三碳酸铀酰铵为原料制备铀的氧化物非常重要。在铀水冶工艺中，制备三碳酸铀酰铵有两种主要方法：(1) 盐析结晶法；(2) 结晶反萃取法。

（撰写：赵锡熊 审订：许根福）

sanweiyiti zhanlüe heliliang

"三位一体"战略核力量 triadic strategic nuclear forces 由陆基洲际弹道导弹、海基潜射弹道导弹和战略轰炸机三个部分组成的战略核力量。这一概念是美国福特政府的国防部长拉姆斯菲尔德于 1976 年提出。陆基洲际弹道导弹不仅适合于实施远程密集突击，而且适合于实施集团突击和单独突击，因此常被看做是对固定的重要战略目标实施猛烈和高精度突击的兵器；由于核潜艇具有机动、分散和易于隐蔽的特点，以及不易被发现辨认和精确定位，因此海基潜射弹道导弹生存能力强，是可靠的"第二次打击"力量；战略轰炸机与弹道导弹不同，它们起飞后能够人为地控制返回，并迅速变换部署，攻击时能够从多个方向展开，收到意外的战略突击效果，因此空军核力量被认为是危机局势中惟一灵活的"遏制"手段。"三位一体"战略核力量体现了其组成的多样性和战略灵活性。实际使用时，陆基弹道导弹一般作为战略突击力量，先于其他核武器使用，主要用来打击导弹地下井、核武器库等第一类军事目标；海基弹道导弹作为"第二次打击"的主要手段，用于打击城市、工业中心等经济目标，并可对在首次核突击中未被完全摧毁的目标进行补充打击；战略轰炸机主要用于导弹袭击后进行补充打击和对运动目标进行核袭击。



图 1 美国 B−1B 战略轰炸机

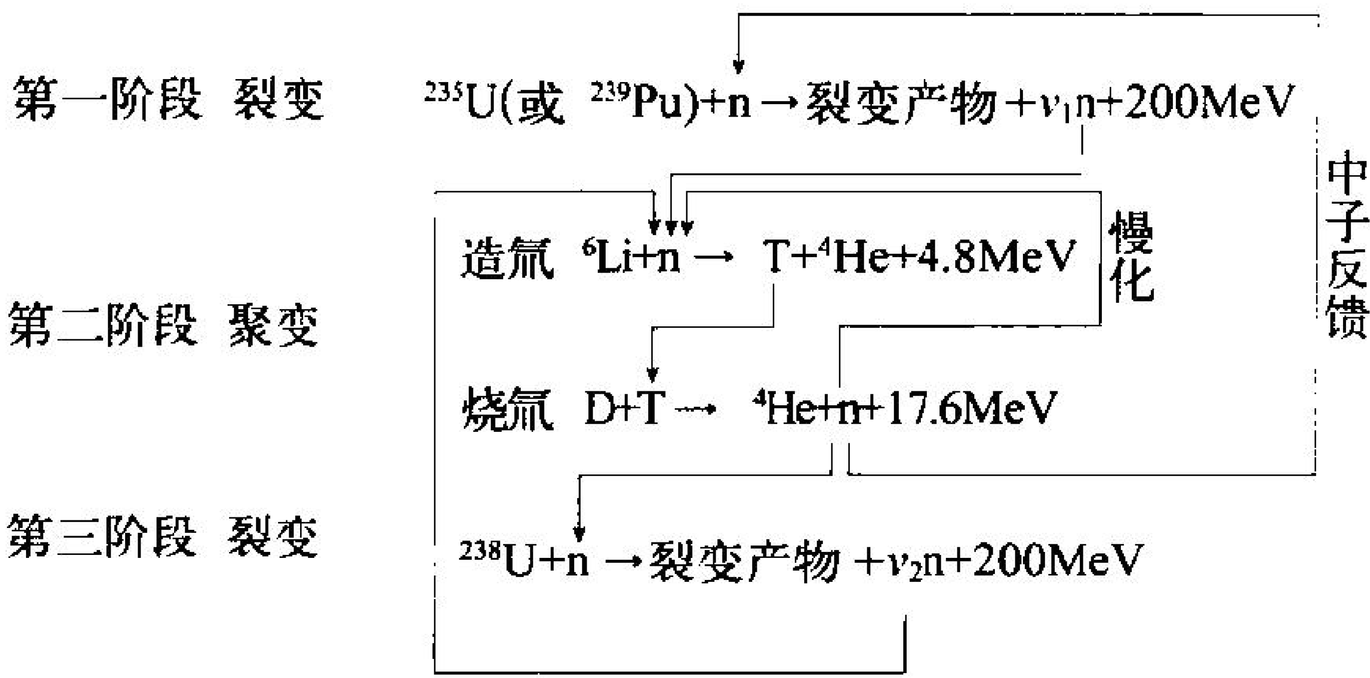


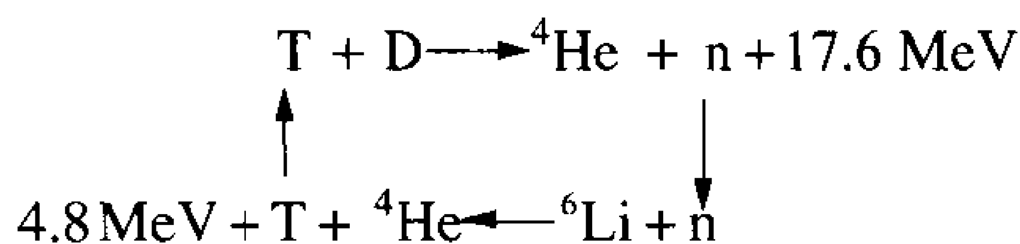
图 2 美国"海神"导弹水下发射

（撰写：段占元 修订：叶名兰 审订：唐西生）

sanxiang dan

三相弹 tri-phase bomb 放能过程经历裂变—聚变—裂变三个阶段的一种氢弹。又称氢铀弹。各核国家核武库中部署的绝大部分氢弹都属于这种类型。三相弹的结构特点是在聚变材料氘化锂外面包一层可裂变材料（天然铀或富集铀）。三相弹的反应过程如图所示，图中省略了起次要作用的氘—氘反应。在初级的裂变爆炸能量对次级含聚变材料系统进行过压缩的基础上，次级中裂变芯放能为聚变材料的点火提供能量。第二阶段的两个反应实际上是氚—中子的循环过程：





两个反应都是放能的，氚—中子循环一次，消耗 1 个氘核和 1 个 ^{6}Li 核，放出 22.4 MeV 的能量。随着循环次数的增加，氘化锂 -6 的燃耗逐渐加深。围在聚变材料外面的可裂变材料包层起着 4 个作用：(1) 内爆压缩过程中起推进层的作用；(2)热核燃烧过程中起箍束聚变燃料，延缓其飞散，加深燃耗的惰层作用；(3) 作为辐射容器又起着防止燃烧过程中热的漏失的作用；(4) 作为可裂变材料，起着增大威力的作用。三相弹的主要优点是比威力高。威力为几百万吨 TNT 当量的三相弹，裂变威力与聚变威力大约各占一半，因此放射性沾染较严重。美国在1954年2月28日试验的一枚威力为 15 Mt TNT 的氢弹就是三相弹。（撰写：郑绍唐 审订：徐通新）

sanlie fanying

散裂反应 spallation reaction 能量足够高的粒子与原子核发生反应，使原子核碎裂成较多碎片的过程。这些碎片可以是核子、轻离子、或大质量的核。其反应机制可以是直接反应、核内级联、预平衡发射、复合核反应、裂变、多重碎裂等。当入射粒子能量达到几十兆电子伏时，在核反应过程中就会有较多的核子和离子发射出来，但剩余核的质量比靶核小不很多，对于重靶核还会有少量裂变碎片产生。随着入射粒子能量升高，发射的核子和离子数增多，重离子增多，反应产物质量分布明显变宽。当入射粒子能量相当高时，反应产物分布在靶核以下的全质量区。能量为 GeV 的质子与重核如铅的散裂反应是很好的中子源反应，可作为先进的强流中子源。散裂反应也被用来产生远离 β 稳定线的放射性核素。

（撰写：申庆彪 审订：许谨诚）

sanlie zhongziyuan

散裂中子源 spallation neutron source 用中能质子轰击重原子核产生散裂核反应，获得的中子源。当中能质子与具有一定大小的重元素靶作用时，除与原子核发生散裂反应外，逸出核外的次级粒子有足够的能量与靶内其他原子核再发生散裂反应。这种核间的级联散裂反应能一直延续到次级粒子能量降到阈能以下为止，于是使重元素靶发射的次级粒子数进一步扩大。由这种过程产生的中子源称为散裂中子源。散裂中子源的中子产生数与质子能量，靶材料及其几何形状有关。以直径 10 cm、长度 60 cm 的铅靶为例，每个中能质子产生的中子数近似可表示为

$$n = 23.6\,(E - 0.12)$$

式中 E 为用 GeV 表示的质子能量，0.12 GeV 即为散裂反应阈能。由此可推算出 1 GeV 质子在铅靶上可产生 20 个中子。

（撰写：罗璋琳 审订：丁大钊）

sanshe

散射 scattering 入射粒子和靶核的类型不发生变化，仅改变运动方向或能量的核反应过程。入射粒子和靶核的内部状态不变，从而总动能保持不变的散射称为弹性散射；入射粒子或靶核的内部状态发生变化、总动能发生改变的散射称为非弹性散射。发生非弹性散射时剩余核处在激发态。非弹性散射分为直接非弹性散射和复合核非弹性散射两部分。当入射粒子能量较高时，直接非弹性散射角分布明显各向异性，而复合核非弹性散射角分布是 90° 对称的。在核反应堆中，中子散射是一个重要反应过程。

（撰写：申庆彪 审订：许谨诚）

se de tiqu

铯的提取 extraction of cesium 从后处理高放废液中提取可称量的 ^{137}Cs 的过程。每吨燃耗为 33000 MWd/t 低加浓铀乏燃料中含裂变产物元素铯 2.7 kg，主要是 ^{133}Cs 和 ^{137}Cs。20 世纪 50 年代曾用沉淀分离法，如硫酸铝、磷钨酸盐、亚铁氰化镍沉淀等方法。60 年代曾用溶剂萃取和无机离子交换法（磷酸锆、磷钼酸铵和沸石）。70 年代以来，一些人工合成的无机交换剂如硅铝酸盐，磷酸钛，以及各种复合无机交换剂显示出对Cs具有较大的交换容量和良好的选择性。由于无机离子交换剂具有耐辐照和热稳定性好等优点，因而适宜于工业规模应用。一般提取过程分为料液制备、吸附、洗涤、淋洗四步，常以铯玻璃和固体 CsCl 为最终产品。

（撰写：叶国安 审订：朱永𬀩）

shayanxing youkuangchuang

砂岩型铀矿床 sandstone type uranium deposit 产于砂岩、砂砾岩等中粗碎屑岩中的外生后成铀矿床。产出重要砂岩型铀矿床的多是地台或中间地块上的大中型自流盆地以及造山带中的山间盆地。砂岩型铀矿床产于陆相、海陆交互相沉积中。产铀砂岩的时代主要是中新生代。砂岩型铀矿床成因上有两类，即：层间氧化带型和潜水氧化带型。矿床中的铀矿物主要是沥青铀矿、铀黑和铀石。20 世纪 60 年代地浸技术开采砂岩铀矿获得成功，使砂岩铀矿床成为当前世界上最重要的铀矿床类型之一。（撰写：陈祖伊 审订：赵凤民）

shaixuan moshi

筛选模式 screening model 为了筛选掉其重要性可以忽略的放射性核素和照射途径而采用的、依据偏保守的假设、仅需要少数简单的运算和最低限度的与厂址相关的参数及用户的决策，即可确认是否符合法规要求的简单模式。IAEA《安全丛书》57 号 (1982) 中提出了这一概念，最近 NCRP 123 号报告详细给出了计算框图，用以对排放量不大的核设施进行辐射环境影响估计。在若干情况下，例如在进行初步规划时、或者关键人群组的剂量显然很小时，可以不必进行为鉴别关键人群组而开展的那些详细的研究。这时，简捷的做法是设想一个具有极端特征(如吸入和饮入未经环境稀释的排放物、食用受到最严重污染的食物等)的假想人群组，对它估算的剂量将为真实关键人群组可能接受的剂量提供一个足够保守的上限。由于筛选模式是由简到繁，由保守到现实的几个解析模式组成的，因此也可称为甄审（查）模式。只要简单的偏保守的模式计算结果能够满足法规对环境质量的要求（如公众剂量限值)，则不必再用较复杂的更真实的模式进行计算。筛选模式综合了输运机制、暴露（照射）途径和剂量学参数组成的几个计算步骤。一步一步的工作清单，指导用户经由甄别过程直到最终确认这一结果已经符合现行标准或还须进行更接近于现实的计算。（撰写：张永兴 审订：胡逢全）

shanzhongdu

钐中毒 samarium poisoning 裂变产物 ^{149}Sm 吸收中子引起

反应性变化的过程或程度。当 ^{149}Sm 的浓度达到平衡时，其钐中毒称为平衡钐中毒。平衡钐中毒程度与热中子注量率无关，但是达到平衡钐中毒所需的时间与热中子注量率有关。即使反应堆在高中子注量率下运行，到达平衡钐中毒的时间至少要数百小时以上，比达到平衡氙中毒的时间要长得多。

（撰写：奚树人　审订：单文志　许汉铭）

shanshuo tanceqi

闪烁探测器　scintillation detector　闪烁体直接地或通过光导和光敏器件（如光电倍增管）相耦合而组成的核辐射探测器。典型的闪烁探测器的工作过程可以概括为五个相互联系的步骤：(1) 核射线进入闪烁体，使闪烁体的原子、分子电离和激发；(2) 部分电离激发能以光辐射的形式释放出来，形成闪烁光；(3) 部分闪烁光被收集到光电倍增管的光阴极上；(4) 光子在光电倍增管的光阴极上产生光电子；(5) 光电子在电子倍增器中倍增，并在阳极上被收集，形成电信号。闪烁探测器能探测各种类型的带电粒子和中性粒子。其主要特点是探测器效率高，时间分辨好。它是一种应用较广泛的基本的核辐射探测器。

（撰写：汲长松　审订：彭华寿）

shanshuoti

闪烁体　scintillator　具有射线致发光特性的闪烁物质组成的，对电离辐射灵敏的元件。闪烁体按其化学属性可归类为有机与无机闪烁体两大类；而依其物理形态，有固体、液体、气体与固溶体四种；但在实际核技术应用中，考虑到闪烁体的发光机理与核性能特点，闪烁体分作无机晶体闪烁体、有机晶体闪烁体、塑料闪烁体、玻璃闪烁体、液体闪烁体和气体闪烁体等六个品种。带电粒子穿过闪烁体时，使闪烁体的原子或分子产生电离和(或)激发，这些原子或分子在复合和退激时瞬即(10^{-7}s 量级)发光，中性粒子或γ、X 射线是依靠其与闪烁体物质相互作用（核反应或电磁作用等）所产生的次级带电粒子而使闪烁体激发发光。对于无机晶体闪烁体与有机晶体闪烁体，用原子、分子结构的能带理论解释激活剂的作用与闪烁发光机理，已经取得了令人信服的结果；对塑料闪烁体与玻璃闪烁体内能量传递与发光现象的理论描述，也已经可以解释大部分实验结果，但是，应当指出，对闪烁体的发光至今也不能进行定量的计算。

（撰写：汲长松　审订：彭华寿）

shanshuoti de zhuyao texing canshu

闪烁体的主要特性参数　main characteristics of a scintillator　闪烁体的主要特性参数是：发射光谱、光输出、能量转换效率、能量分辨率、闪烁衰减时间、闪烁衰减长度及温度效应等。在不同的使用中，对这些性能参数有不同的要求。闪烁体的发射光谱：闪烁体发射的光子数随光子的能量或波长而变化的分布曲线。闪烁体的光输出：闪烁体发射光子的总数与被该闪烁体吸收的入射辐射能量的比值。与闪烁体标准样品的光输出值相比较给出的相对值，称为相对光输出。闪烁体的能量转换效率：闪烁体发射光子的总能量与被它吸收的入射辐射能量的比值。与闪烁体标准样品的能量转换效率值相比较给出的相对值，称为相对能量转换效率。闪烁体固有能量分辨率：闪烁探测器的能量分辨率扣除光电倍增管贡献后的值。闪烁衰减时间：从闪烁体受单次激发到其光子发射率下降到最大值的 1/e 所需的时间。闪烁有效衰减长度：闪烁体内，闪烁光因传输而衰减至 1/e 倍的长度，通常以厘米为单位表示。闪烁体的温度效应：闪烁体的基本性能（如能量转换效率，固有幅度分辨率，闪烁衰减时间等）随温度变化的关系。

（撰写：汲长松　审订：彭华寿）

shanguang X guang xiangji

闪光X光相机　flash radiography by pulsed X-ray system　利用高能电子束产生脉冲 X 射线在武器系统的流体动力学实验中对高速运动的实验物体进行瞬间照相的设备。它是研究核武器初级内爆阶段特性的重要设备。主要包括闪光X光加速器光源、辐射探测器系统、图像记录及处理系统。加速器用以提供作为透射光源的闪光 X 射线，其强度及能量取决于待测物体的材料、尺寸及能量分辨率要求等。脉冲宽度取决于待测物体的运动速度。采用的加速器主要有两类：一是高功率脉冲电子束加速器；二是电子直线感应加速器（见图）。加速器的电压 U_0 一般为数百千伏至 10 MV，电流 I_e 为数十至数百千安，脉冲宽度约为 100 ns。辐射探测器用以采集透过被测物体的成像信息，可以用 X 光底片（可以加增感屏），或采用气体或晶体探测器阵列，以记录透过被测物体的辐射信息。图像处理可以是离线，也可以是在线，在线处理是将记录的辐射信息直接通过计算机处理后输出、显示或保存。美国洛斯·阿拉莫斯实验室 20 世纪 60 年代装备的闪光 X 光相机 PHERMEX（Pulsed High-Energy Radiographic Machine Emitting X-ray 的字头缩写）和利弗莫尔实验室 1983 年投入运行的 FXR 装置（Flash X-ray Facilities）在核武器的内爆流体动力学过程的诊断中起了重要作用。它们可用来研究高速运动物体的瞬间形状，界面位置和密度分布等。升级后的装置将可提供三维图像和多轴、多时间照相能力，解决后期核材料的密度分布问题。



直线感应加速器

（撰写：赖祖武　审订：郑绍唐）

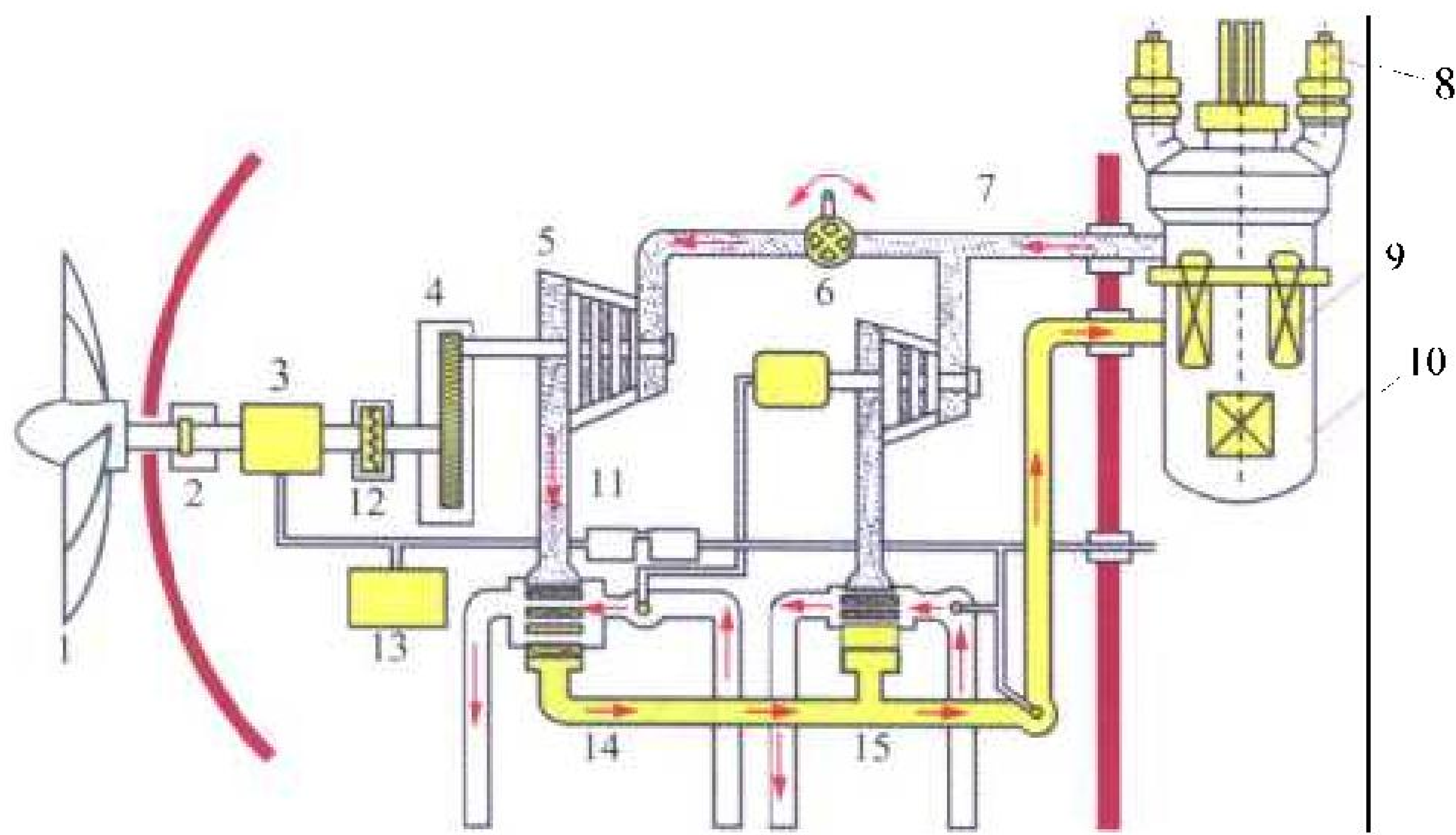
shanguang X shexian zhaoxiang

闪光 X 射线照相　flash X-ray radiography　闪光 X 射线照相方法主要用于透视爆炸物体内部的瞬态结构和它的高速运动状态，并可获得完整直观的物理图像。

（撰写：刘锡三　审订：关遐令）

shangchuan hedongli zhuangzhi

商船核动力装置　merchant marine nuclear power plant　用于民用船舶的核动力装置。这类商船以核动力为主，但还设有常规燃油锅炉等应急动力。商船核动力装置一般都用压水堆，它可以是分散型、紧凑型或一体化。从环境、安全和经济性出发，一体化压水堆核动力装置可能是较好的商船核动力，因为一体化压水堆无重大失水事故，便于利用非能动系统在全船断电事故下排出堆芯衰变热，整个装置比较简单，有利于设备安装和退役。如图所示为商船一体化压水堆核动力装



商船核动力装置原理图

1—螺旋桨；2—止推轴承；3—低速电动机；4—减速齿轮；5—主汽轮机；6—汽轮发电机组；7—二回路；8—反应堆冷却剂泵；9—蒸汽发生器；10—反应堆；11—柴油发电机；12—离合器；13—主蓄电池；14—主凝汽器；15—凝汽器

置工作原理。产生的蒸汽一部分送入主汽轮机带动螺旋桨驱动船舶前进，另一部分送入汽轮发电机组发电。在断电事故下可利用船上柴油发电机和蓄电池通过推进电机组带动螺旋桨驱动船舶前进。　　（撰写：刘聚奎　审订：孙玉发）

shangchongbeng

上充泵　charging pump　将化学和容积控制系统净化后的下泄水重新唧送入反应堆冷却剂系统的泵。其主要功能是维持稳压器的水位，并为反应堆冷却剂泵提供高压的轴封注水。通常设置两台多级的离心式上充泵，其中一台连续运行，另一台为备用。另外设置一台往复式上充泵，用于反应堆冷却剂系统的水压试验和作为离心式上充泵的备用，其容量应与过剩下泄流量相应。在核电厂失去全部交流电的事故情况下，为保证反应堆冷却剂泵轴封注水的供应，新一代压水堆的往复式上充泵由核电厂非1E级的替代交流电源供电。有的压水堆核电厂离心式上充泵又用作高压安全注射泵。

（撰写：张维忠　审订：杜圣华）

shangshengshijian fudu bianhuanqi

上升时间幅度变换器　rise time-amplitude converter (RAC)　一种把脉冲上升时间变换为与之成比例的脉冲幅度的电路。它的主要技术指标有：变换的线性、稳定性和分辨时间。常用于脉冲上升时间的测量或波形形状的甄别。RAC的原理是用上、下恒比定时器拾取上升时间的起始、终止点，然后把这两点间的时间间隔变成相应宽度的矩形脉冲，此脉冲再由时幅变换器变为与其成比例的脉冲幅度。RAC还可以用来改善受过中子辐照损伤的Ge (Li), Si (Li) 探测器的能量分辨率。

（撰写：倪建平　审订：席德明）

shangxia guanzuo

上下管座　top and bottom nozzles　上管座是设于燃料组件骨架上部，对组件进行定位，并同时对冷却剂的流动和混合进行调整的构件；下管座是设在燃料组件骨架底部对组件进行定位并控制冷却剂流量的构件。在堆运行时上管座是燃料组件冷却剂的出口，在停堆时用于燃料组件的装卸和运输操作。上管座以定位销与堆芯上板相连。下管座是组件的基座，除用于流量分配外，还用于支撑组件的竖向载荷。在下管座四角设有四个基脚，其中两个以定位销与堆芯下板相连。下管座内还设有异物过滤装置(参见下管座异物过滤网)。

（撰写：张忠岳　审订：黄玉才）

shaohui reliu midu

烧毁热流密度　burnout heat flux　受热壁面发生熔化(破坏)时的热流密度。一般偏离泡核沸腾热流密度接近烧毁热流密度，而干涸热流密度却比烧毁热流密度低得多。

（撰写：郝老迷　审订：陈玉宙）

shaohui reliu midu bi

烧毁[热流密度]比　burnout [heat flux] ratio　受热壁面给定点的烧毁热流密度与实际热流密度之比(参见偏离泡核沸腾比)。　　（撰写：陈叔平　审订：连培生）

shaojie midu

烧结密度　sintering density　燃料生坯块经高温烧结、制成成品(燃料芯块)后的密度。它是燃料芯块的一项重要技术指标。从堆物理性能考虑，燃料芯块应有尽可能高的密度。但为了减少来自裂变产物的不良效应，燃料芯块内又应含有足够的残余孔隙，因此，压水堆使用约95%理论密度（简写为95% TD）的 UO_2；而快中子增殖堆则使用约85% TD的 (U, Pu) O_2。UO_2的烧结密度与原始物料的性质、O/U比、活性、水分和烧结制度有关。生产中，UO_2 的烧结密度可达99% TD。为了降低芯块的烧结密度，除了优选上述条件外，必要时，可采取添加造孔剂的措施。

（撰写：李文埃　审订：张忠岳）

shaoshi qudongde chongjibo

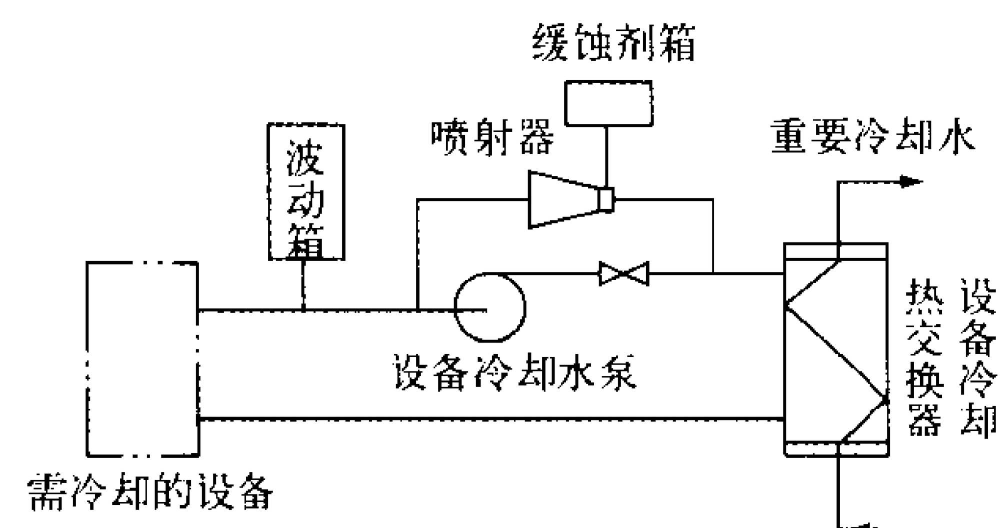
烧蚀驱动的冲击波　shock wave driven by ablation　烧蚀在介质中产生的冲击波。受到烧蚀的介质向外膨胀，由于动量守恒产生向内传播的冲击波。激光驱动的冲击波压力是临界面处压力的两倍左右，它依赖于激光吸收功率密度和激光波长，$p = AI_c^{\alpha}\lambda^{-\beta}$，其中，$p$ 为压力，A 为与介质有关的常数，β、α为大于零的常数。辐射驱动的冲击波压力依赖于入射辐射流强度。由于辐射对介质的穿透性比激光强，在相同的入射流强度的条件下，辐射驱动的冲击波压力比激光驱动的要大得多。　　（撰写：赖东显　审订：常铁强）

shaoshiwuli

烧蚀物理　ablation physics　描述外部热源作用于物质表面，经输运加热物质及其相关的流体力学运动规律的物理。物质表面受热而膨胀。初期热波以超声速向物质内部传播，随后产生的冲击波迅速超过热波，形成冲击波、热波和稀疏波三波相互作用的图像。临界面附近的电子吸收激光能量后被加热到高温，通过电子传热将能量传输到高密度区，导致电子热传导烧蚀。X光辐射烧蚀是辐射热传导引起的烧蚀过程。描述烧蚀引入质量烧蚀速率ρv_a，其中ρ为物质的密度，v_a为烧蚀速度。在热波波头产生的烧蚀压力是惯性约束聚变靶丸内爆的推动力。　　（撰写：赖东显　审订：常铁强）

shebei lengqueshui xitong

设备冷却水系统　component cooling water system　冷却一回路带放射性介质的设备、并将热量传至最终热阱的闭式中间冷却系统。它是保证核蒸汽供应系统正常运行和事故安全的重要支持系统，其主要功能是向一回路设备提供冷却水，并



设备冷却水系统示意图

在一回路放射性介质与最终热阱（河水或海水）之间提供一个可进行监督的中间屏障，以避免放射性流体向环境泄漏。本系统通常由两个以上独立的、分隔的系列和一个公用的缓蚀剂添加装置组成。每个系列各设有一台设备冷却水泵、一台设备热交换器和一个波动箱（见图）。　（撰写：戚正文　审订：张维忠）

sheji jizhun shigu

设计基准事故　design basis accident　根据确定的设计准则为核设施在设计中采取了针对性措施的那些事故工况。这是一组有代表性的、能冲击核设施安全、并经有关规章确定下来的事故的集合。按照这一组事故，设置安全系统并对核设施进行分析计算，将结果与可接受限值相对比，可以评价核设施是否符合安全要求。设计基准事故包括稀有事故和极限事故两类事故工况，在核设施设计中，对一系列的预计运行事件也按确定的设计准则，采取了针对性的措施。故把预计运行事件、稀有事故和极限事故合在一起，统称设计基准事件（参见核设施状态分类）。

（撰写：俞尔俊　审订：董柏年）

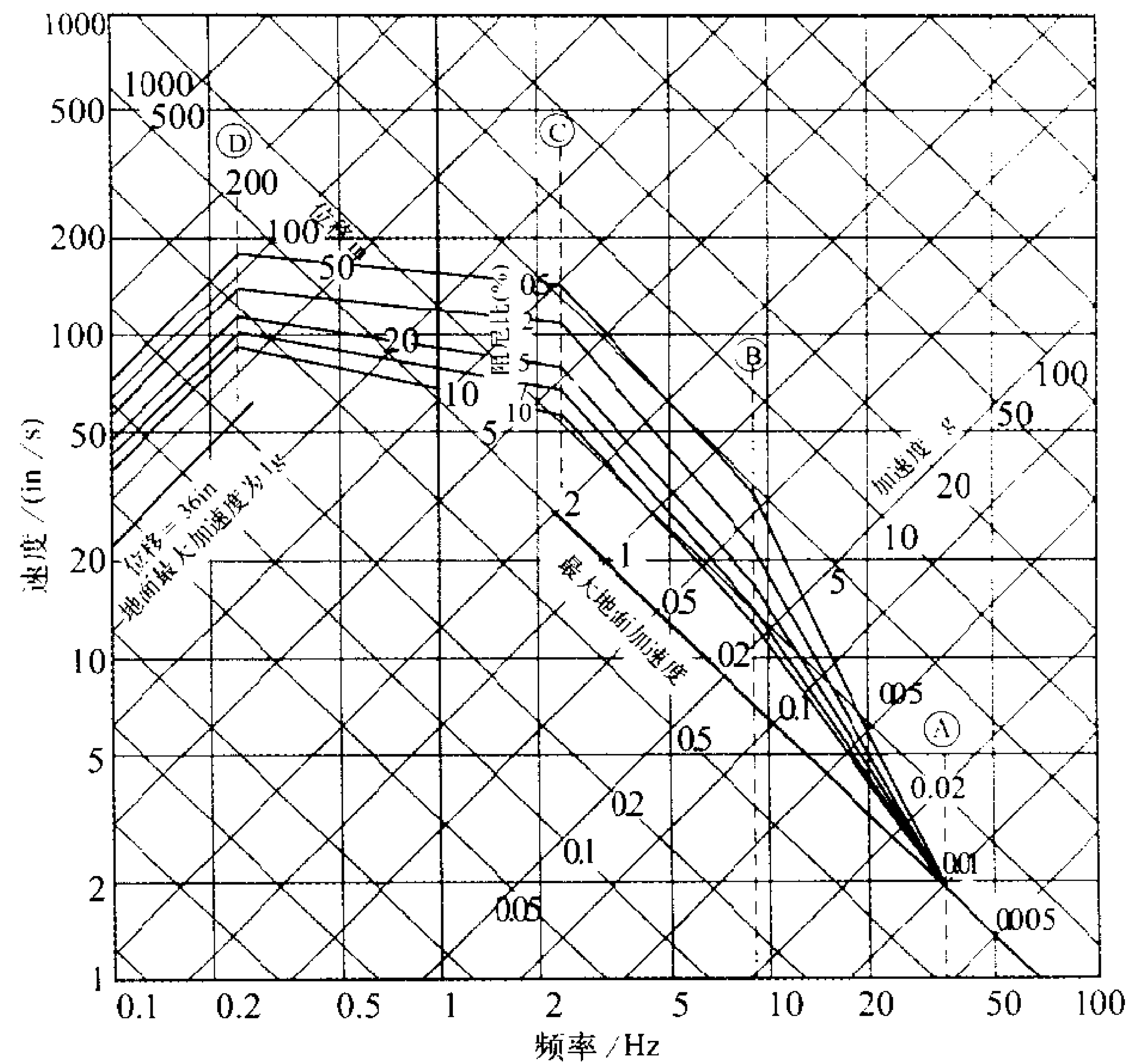
sheji jizhun waibu shijian

设计基准外部事件　design basis external events　与某个外部事件或几个外部事件组合有关，能表达其特征，选定用于核设施全部或其任何部分的设计参数。外部事件设计基准需通过调查、收集资料，评价和估算等手段而获得。必须考虑的自然与人为事件的因素，包括：(1) 由于降水和其他原因引起的洪水；(2) 因地震引起的波浪；(3) 因挡水构筑物受破坏而引起的洪水及波浪；(4) 地表断裂；(5) 斜坡不稳定性；(6) 地面塌陷、沉降或隆起；(7) 地震；(8) 基土液化；(9) 龙卷风；(10) 热带气旋；(11) 其他重要自然现象和极端条件，如火山活动，大风、沙暴、暴雨、泥石流等；(12) 飞机坠毁；(13) 化学品爆炸；(14) 影响堆芯长期排热的厂址参数；(15) 其他重要的人为事件，如厂址区域内贮存、加工、运输或处理有毒有腐蚀性或有放射性物质的设施的对安全有害影响。

（撰写：俞尔俊　审订：董柏年）

sheji xiangyingpu

设计响应谱　design response spectrum　根据对大量实际地震记录的响应谱进行统计分析、结合经验判断所制定的单自由度振子响应（加速度、速度和位移）对应于自振频率的曲线。工程上用得最多的是加速度谱。设计（响应）谱具有“两端锚定、中间放大”的特点：左端低频段，频率≈0，振子刚度极小，不能将地面运动能量传至振子，振子位移等于地面运动的位移；右端高频段，振子频率极高，周期约为0，接近于刚体，地面运动最大加速度即等于振子加速度，且与阻尼无关。在工程上的说法是：设计谱中的“零周期加速度”或“刚性”段加速度即为最大地面加速度；而所谓刚性段实际应用中即取为频率 ≥33 Hz 的区段。在设计谱的中等频率区段，振子响应相对于地面运动参数（位移、速度、加速度）均有所放大。图为美国核管会 (US NRC) 所制定的 RG 1.60 设计谱，它在国内外都有广泛应用。图中的响应均对应于 1.0 g 地面最大水平加速度，在确定厂址最大地面加速度后，可从上述响应谱按比例得到设计位移、设计速度和设计加速度响应。



水平设计响应谱

标定到水平地面加速度为 1.0 g (1in=25.4 mm)

（撰写：黄经绍　审订：张忠岳）

shepin diancichang

射频电磁场　radio frequency electromagnetic field　通常指 3 kHz～300 GHz 带宽之间的电磁辐射。在这一带宽内，电磁辐射可以用于传递信息，如无线电广播、电视、无线通信和雷达等。射频电磁场还可以提供电磁能用于工业加工、干燥，塑料热合，医疗诊断等。射频电磁场用途广泛，射频电磁场在传递信息时是作为有用资源在使用，但对于环境它又是一种污染要素。电磁能在使用时，也总会伴有泄漏，泄漏部分也成了环境污染成分。电磁污染对公众健康可引起两类效应：当接受的电磁辐射能较多，导致体温升高而出现的热效应；接受的电磁辐射能不是很多，靠体内的自我调节不至于引起体温升高情况下出现的一些效应，即非热效应。此外，射频电磁场还会对其他电器设备产生干扰甚至破坏。因此，对射频电磁场，既要广泛开拓使用，为人类服务，同时又要注意安全防护，保障人员健康，防止设备受到干扰。

（撰写：赵亚民　审订：高攸纲）

shepin gonglü fangdaqi

射频功率放大器　RF power amplifier　具有小射频信号输入、大射频功率输出功能的器件。行波管放大器和速调管放大器是典型的例子。在这些管子中，从阴极发射出来的电子受射频输入信号调制，变成疏密相间的电子束团。束团与谐振腔交换能量，输出高功率射频电磁波，其增益（放大倍数）高达 50 dB 以上。射频功率放大器都有饱和区。超过饱和区之后，再增加输入激励功率，输出功率不但不能增加，反而减少。在某些应用中，不追求增益高，而追求转换成射频电能的效率高，通过对管中谐振回路的参差调谐，可达到此目的。

（撰写：罗应雄　审订：王传英）

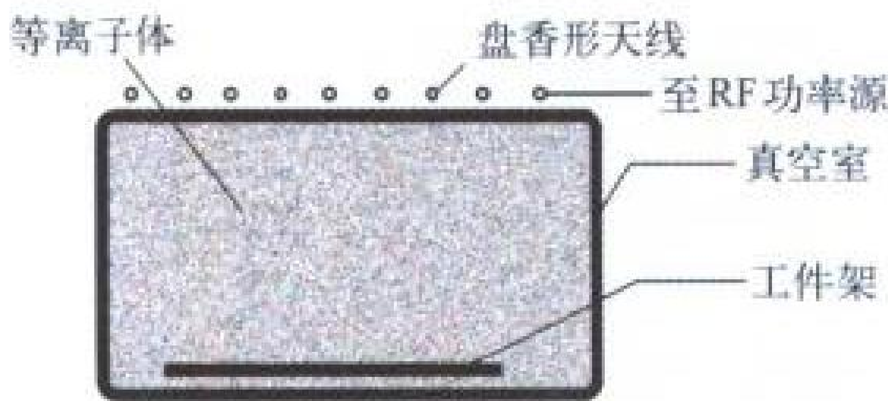
shepin he weibo denglizitihu

射频和微波等离子体弧 radio frequency and microwave plasma arc 由射频和微波产生的弧状等离子体。石英放电管外面线圈中的高频电流感生的电场造成气体击穿并形成的电弧。RF 等离子体弧工作在较高气压下，要求RF功率较高，往往需要其他方法帮助引弧。因没有同轴电极弧的$J \times B$电动力，通常因扩散并用气流驱动等离子体向前喷射。沿管内壁通入的气流也用于冷却石英管并稳定电弧。射频功率的分配和耦合与趋肤效应有关，分析表明：趋肤深度为等离子体半径或射频耦合方向等离子体线度的 1/3～2/3 时耦合效率最高，这是必须考虑的物理限制。目前功率已达 1 MW，效率达 40 %～50 %。微波波导中电场足够强时也可以造成击穿，产生等离子体。可以用收窄波导窄边的办法来提高微波电场。10 kW，2.45 GHz 微波等离子体炬可以在大气压下工作。

（撰写：钱尚介　审订：黄　林）

shepin yu ECR dengliziti

射频与 ECR 等离子体 radio frequency and ECR plasma 以射频吸收和电子在磁场中的回旋共振吸收微波的原理为基础产生的等离子体。工业上常用的射频为 13.56 MHz。射频等离子体按耦合方式可分为电感耦合与电容耦合两类。电感耦合最简单的方式是在放电管外绕个螺旋形 RF 线圈（见图）。



用盘香形天线的RF等离子体

放在扁圆柱形放电管的顶端的盘香形螺旋 RF 线圈产生的非热平衡等离子体可用于干法大规模集成电路刻蚀。为了获得大直径均匀等离子体，国外对盘香形天线的各种变形作了广泛的研究。电容耦合 RF 等离子体是由放电管外加有 RF 电压的电极产生的。在磁场中某一位置，外加微波频率与该点的电子回旋共振（ECR）频率相等时，微波能量被共振电子吸收而产生等离子体。电子回旋共振频率为 $2.799 \times 10^6 B$ (Hz)，B 为磁感应强度(G)，对于工业用微波 2.45 GHz，要求磁感应强度小于 1 kG。等离子体形成于上游，通过逸出锥向下游扩散，形成大面积（直径≥ 30 cm）等离子体处理区，它是干法大规模集成电路刻蚀的主要方法之一。

（撰写：钱尚介　审订：黄　林）

sheqi celiang

射气测量 emanation survey 又称氡气测量。测量土壤、大气、岩石、水等介质中的放射性气体（主要是氡）浓度及其分布规律的方法。氡是铀的衰变产物，介质中氡的分布规律同铀直接相关，氡的运移为研究地质体中的通道（断裂构造带、裂隙等）提供了重要信息。这是射气测量用于地质研究和勘查以铀矿为主的矿产资源的基础。射气测量分为瞬时测量和积分测量，后者又分为径迹蚀刻、活性炭和热释光等。用于快速、有效地寻找隐伏铀矿和追索构造断裂带、预测地震、勘查地热资源和与铀伴生的矿产资源、油气藏，以及监测环境和居民建筑物中的氡等。

（撰写：蒋永一　审订：李家俊）

sheqi xishu

射气系数 emanation coefficient 由矿石中扩散逸失到周围空间或介质中的氡气量（N_1）与同一时间内在同样体积矿石中产生的氡气量（N_2）的比值（α），表示为：$\alpha = N_1/N_2$，α通常用百分数表示。由于矿石中氡的逸出，导致了矿石中Ra–Rn放射平衡破坏，使γ辐射强度减弱，在铀矿床勘探和开采阶段，将引起放射性测量结果偏低，产生对矿体含量和边界的确定错误。在实际工作中，需按具体地质条件测定α值，并对放射性测量结果进行射气系数修正，以确保不漏失铀矿体和正确确定矿体与非矿、富矿与贫矿的边界。

（撰写：蒋永一　审订：李家俊）

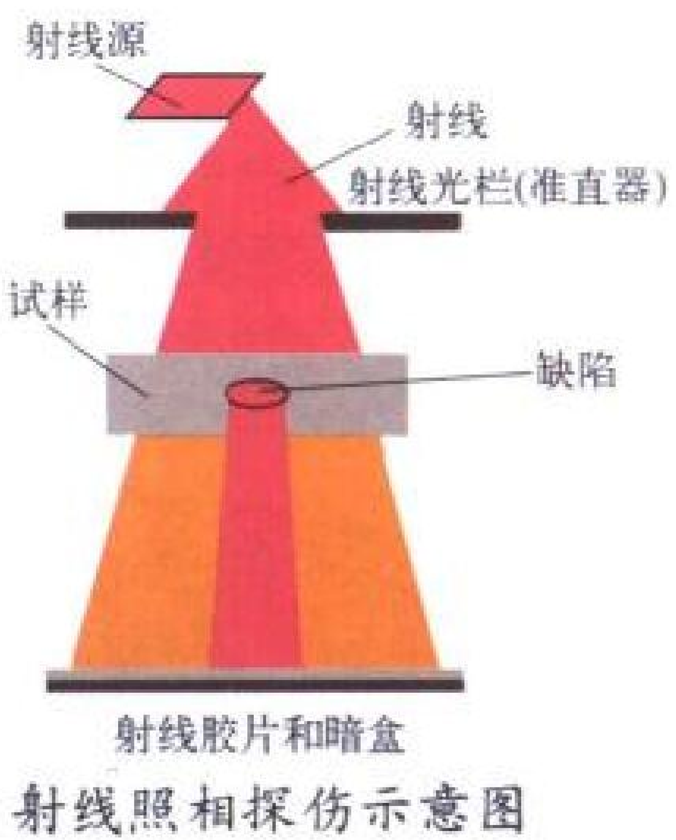
shexian xianxiang tanshang

射线显像探伤 flaw detection by radioimaging 利用射线显像装置，使透过物体的射线在屏幕上显示出被检物体的内部结构和缺陷的一种无损检测方法。射线显像探伤通常与电子计算机结合，利用数字技术快速处理图像并加以显示，做到在线检测、在线识别。目前射线显像探伤多用于诸如飞机机翼油箱腐蚀的现场探测、民用机场的安全检查和海关的集装箱内容物检测等。新近开发的一种高速射线实时照相系统，还可对物体内的快速过程进行研究。

（撰写：貊大卫　审订：吕延晓）

shexian zhaoxiang tanshang

射线照相探伤 flaw detection by radiography 使透过物体后的射线在感光底片上产生影像，来检查分析物体内部缺陷的种类、大小、分布等的一种无损检测方法。辐射源发射的射线（如中子、X射线、γ射线或高能质子等）透过被检物体，由于射线与物质相互作用，透过射线强度发生变化，而物体中的缺陷强化了这种变化，并在感光胶片影像中反映出来，从而达到探伤的目的（见图）。目前常使用的辐射源有 X 光机、电子加速器和γ辐射源等。此外，各种中子源则是开展中子照相的基础。目前射线照相探伤多用于各种重要工业生产部门的产品质量检测。



射线照相探伤示意图

（撰写：貊大卫　审订：吕延晓）

sheru

摄入 intake 放射性核素通过吸入或食入、或经由完好或受伤的皮肤进入体内的过程。经这些途径进入体内的放射性核素的数量称为摄入量。吸入是指放射性核素经由呼吸系统进入体内的过程。食入是指放射性核素经口并通过胃肠道系统进入体内的过程。这里需指出，吸入的放射性物质有一部分由于气管和支气管内的纤毛运动和粘液的传输，又回升至咽喉而被吞入胃肠道，这部分物质不看做食入的物质而看做吸入的物质。

（撰写：李素云　审订：周永增）

shenqingzhe

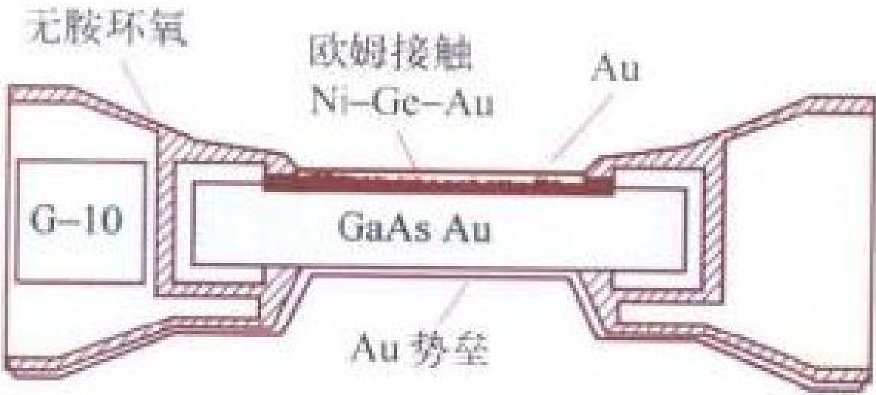
申请者 applicant 向审管部门申请批准其进行某一辐射实践活动并承诺对该活动负责的法人。任何申请者必须：(1) 向审管部门提交支持其申请所需的有关资料；(2) 在所提交的申请资料中，说明其所负责的源所致照射的性质、大小和可能

性所作的分析，并说明为保护工作人员、公众及环境所采取的或计划采取的一切必要措施；(3) 如果照射可能大于审管部门所规定的某种水平，则应进行相应的安全评价和环境影响评价，并作为其申请书的一部分提交给审管部门；(4) 在审管部门颁发注册证或许可证之前，不得进行各项实践活动。

（撰写：吴德强　审订：华　旦）

shenhuajia bandaoti tanceqi

砷化镓半导体探测器　semiconductor GaAs detector　用砷化镓 GaAs 单晶做成的半导体探测器。它有两类，一是利用高纯高阻 GaAs 单晶片制成结型探测器，如面垒型 GaAs 探测器(见图)，它是在室温环境条件下具有较好性能的最早出现的一种化合物半导体探测器，它在探测α粒子和低能γ射线的应用中都取得了较好的结果，并对γ射线和中子都具有较高的抗辐射性能。二是利用高阻半阻缘 GaAs 单晶，制成光电导脉冲辐射探测器。在强脉冲辐射源照射下，引起 GaAs 单晶的电导增加，在恒定偏置电压下，探测器输出一与强脉冲辐射源的强度和能量相对应的大电流，其特点是输出电流动态范围大、线性范围宽、时间响应快以及波形不畸变等。



GaAs 表面势垒探测器的封装示意图

（撰写：丁洪林　审订：李广将）

shenguang 2 jiguang zhuangzhi

“神光”2激光装置　shenguang 2 laser facility　由国家投资建造，我国目前最大的钕玻璃高功率激光聚变实验装置(见图)。装置由高功率激光物理国家实验室研制、建在中国科学院上海光学精密机械研究所内。激光系统是3倍频钕玻璃激光系统(波长 351 nm)，输出8束激光；基频输出激光能量是 6 kJ，功率为 8TW，子光束间能量平衡性为± 10%，1 ns 输出时脉冲前沿小于 300 ps。激光发散角小于 0.01 mrad、瞄准精度 10 μm。有两个靶s室，分别用于进行惯性约束聚变，X 光激光和状态方程物理实验。



图 1 “神光”2 装置图



图 2 “神光”2 靶室

（撰写：王世绩　审订：雷仕湛）

shentoulü

渗透率　permeability　反映多孔介质孔隙结构特性对流体渗透能力影响的参数，又称内在渗透率、比渗透率、渗透性系数、本质渗透率等。它仅取决于岩石的孔隙结构如孔隙大小及其分布、孔隙度、孔隙形状和排列等。在达西定律 $K=k\gamma/\mu=kg/\gamma$ 中渗透率与流体压力传导系数(即渗透系数)成正比。渗透率一般可表示为

$$K=\mu V\bigg/\left(\frac{\partial p}{\partial L}+\rho g\sin\varphi\right)$$

式中 L 为沿流动方向；φ 为流动方向与水平线夹角；μ 为粘滞系数；p 为流体压强。用不同的单相牛顿流体通过同一多孔介质流动时，k 值保持不变，故也称绝对渗透率。在通常情况下研究地下水的运动时，由于地下水的物理性质变化不大，可以采用水力传导系数(即渗透系数)代替渗透率单纯说明各类岩石的渗透性能。因此，在研究地下水运动和放射性物质在地下水中迁移时，一般采用水力传导系数(或称渗透系数)，比较少用到渗透率。渗透率的概念应用于物理学、化学及应用科学的许多分支学科中，如水文地质学、石油天然气工程、化学工程等领域。

（撰写：独仲德　审订：王志明）

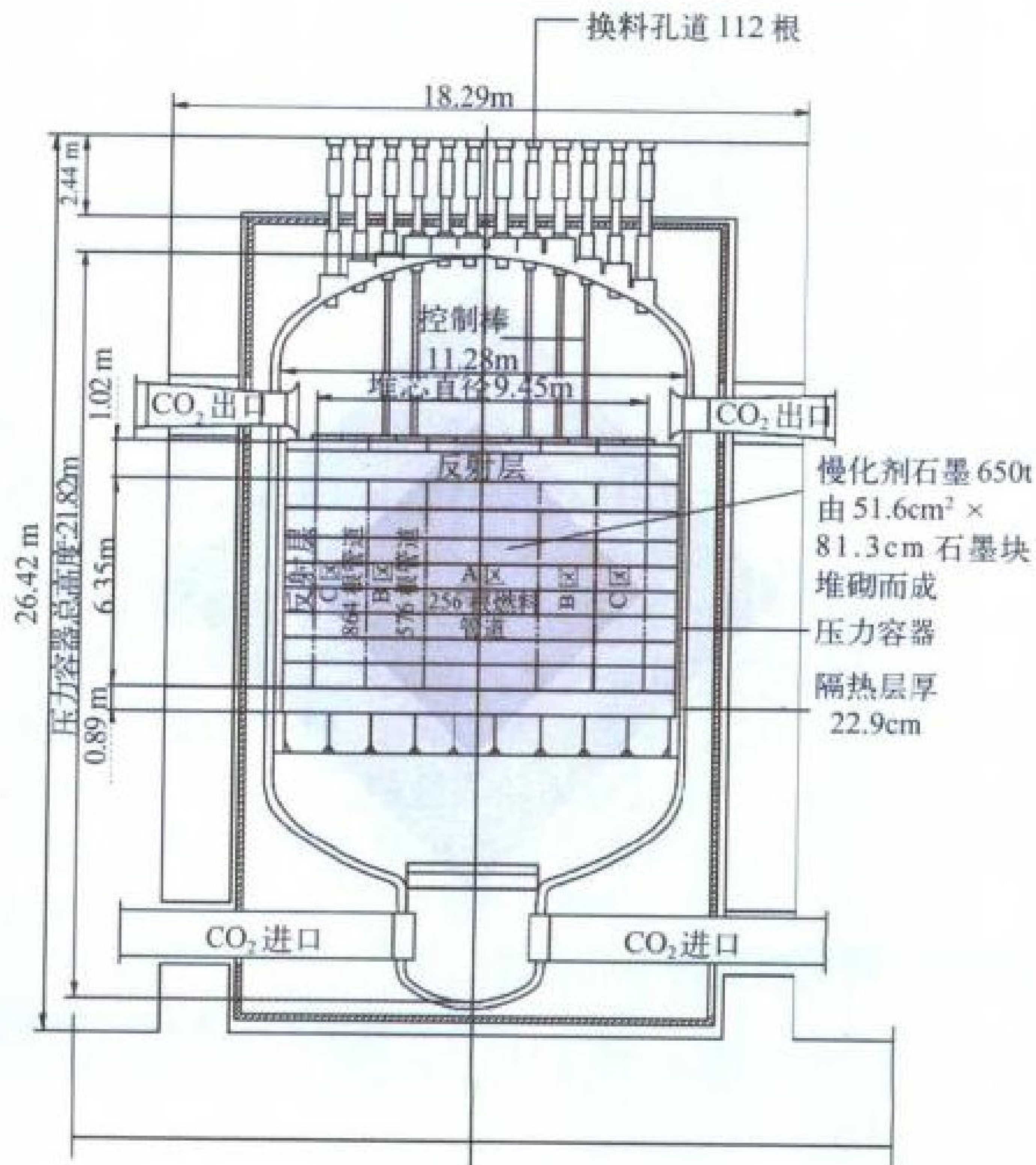
shentou xishu

渗透系数　permeability coefficient　衡量矿石渗透性的参数。它表示多孔介质输送某一特定流体的能力，数值上，它表征水力梯度等于 1 时的渗透速度，常用单位为 m/d。矿石渗透系数直接影响钻孔抽注液能力、溶液的运移速度、矿石浸出时间，井型与井距确定等。在一定操作条件下，即水力梯度为定值时，渗透系数愈大，渗透速度也愈大，浸出周期缩短；渗透系数小，溶浸液的供给和浸出液迁移速度受到限制，不利于浸出反应进行。因此，矿石的渗透系数是矿床是否适宜地浸进出的决定因素。不同岩性矿石的渗透系数变化一般在 0.1～20 m/d，按渗透系数大小将矿石划分为以下类型：(1) < 0.1 m/d，不渗透性矿石，不宜地浸开采；(2) 0.1～1.0 m/d，弱渗透性矿石，可地浸开采；(3) 1.0～10 m/d，渗透性矿石，最适宜于地浸开采；(4) ≥ 10 m/d，强渗透性矿石，易产生沟流，也不适宜地浸开采。

（撰写：苏学斌　审订：李开文）

shengchan fanyingdui

生产反应堆　production reactor　一般指用来生产裂变燃料钚的核反应堆(见图)。产钚堆一般都能同时生产聚变燃料氚。



英国卡德霍尔产钚发电两用堆示意图

生产堆的特点是：热功率大（钚产量同热功率成正比），常用天然铀为燃料，转换比高，热工参数低。堆芯运行温度低除了有易于建造和安全可靠的好处外，还有利于降低钚产品中的 ^{240}Pu 份额，以得到高质量的军用钚。已建成的生产堆型有：石墨水冷堆，石墨气冷堆和重水堆。

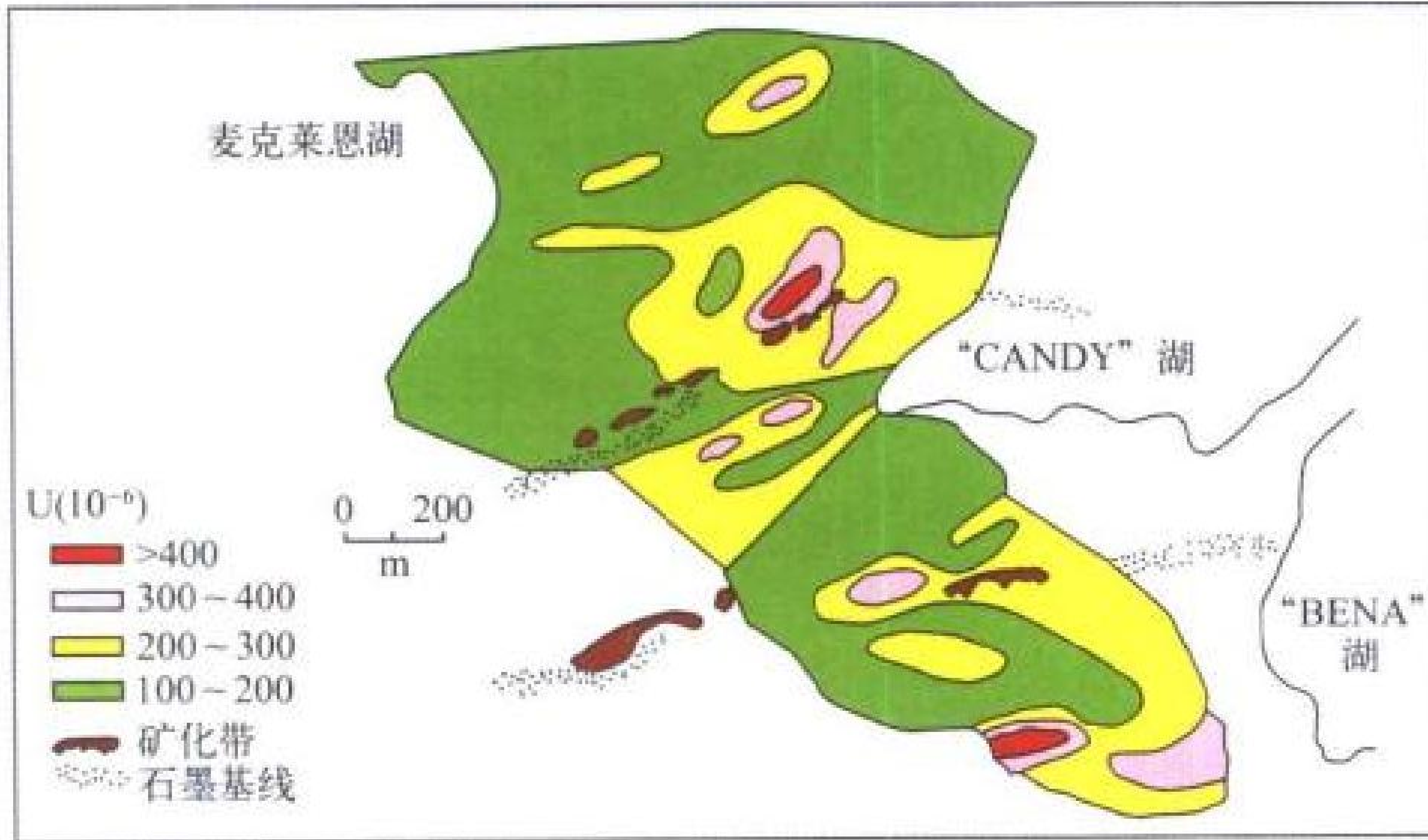
（撰写：连培生　审订：陈叔平）

shengpikuai

生坯块　green pellet　压制后未经烧结的燃料芯块。为满足烧结块的外形、尺寸、密度等要求，生坯块应有一定的外形、尺寸精度、密度和强度。前两者是由模腔及冲头的形状和尺寸所决定的。因此，需要合理设计模具结构和选择适当的压制方式。生坯块的密度决定烧结块的质量，它由容积法和压制压力所控制。可采取预压制粒措施以提高粉末料的压制性，优选压制压力，有时需添加粘结剂和润滑剂，以保证生坯块具有合理的密度和强度。（撰写：李文埃　审订：张忠岳）

shengwu diqiu huaxuefa

生物地球化学法　biogeochemical survey　研究某些生物（植物、微生物等）的指示特性或分析它们及其衍生物中某些元素的含量，发现生物地球化学异常，进行找矿的方法。该方法分为以识别指示植物进行找矿的地植物学测量和通过测量植物干燥器官中的指示元素含量进行找矿的植物地球化学测量两种方法。前者基于铀及其伴生元素在土壤中含量增高促使大量生长的某些特征植物，称为指示植物，如我国内蒙古铀矿床上的灰菜；后者则基于植物根系从土壤中吸收铀及其伴生元素，并积累在植物体内，导致植物体内相应元素含量增高。在铀矿勘查中，主要是研究生物体中的铀及其伴生元素含量。如图所示为应用实例。



麦克莱恩铀矿化带与黑云杉嫩枝灰分中铀含量的关系
取样点约200个

（撰写：蒋永一　审订：李家俊）

shengwu hecheng biaoji

生物合成标记　biosynthesis labelling　以某种核素的简单化合物为原料，通过生物体内的代谢作用产生含有该核素的化合物。利用动植物、酶、微生物等的生理代谢过程，可以将示踪原子引入需标记的化合物分子中。生物合成法能标记一些结构复杂，具有生物活性，难以用其他标记方法标记的化合物。这种方法虽能较好地保持生物活性，但标记位置难于确定，分离、纯化较困难。采用生物合成标记可制备某些氨基酸、核苷酸、激素、蛋白质、糖类等 ^{14}C, ^{32}P, ^{3}H 及 ^{125}I 的标记化合物。

（撰写：卢玉楷　审订：吕延晓）

shengwu jiliang ceding

生物剂量测定　biological dosimetry　根据生物学效应的大小测定受照个体的吸收剂量。某些生物体系受到照射后的反应与照射剂量之间存在着某种定量关系，并往往可用数学模式表示，从而可以用来推定受照剂量。真正意义上的生物剂量测定研究是近半个世纪以来才发展起来的，它是以研究电离辐射引起具有计量特征的变化来估计机体所受剂量。对生物剂量测定法有如下要求：效应对电离辐射有特异性和敏感性、持续时间长、在较宽的剂量范围内变化、本底低和个体差异小；取样容易和用量小；方法相对快速、容易和经济等。目前在多方面能满足上述要求的生物剂量测定法，首推外周血淋巴细胞染色体畸变，但对摄入放射性核素的内照射或慢性分次照射时的剂量估计准确性较差。用稳定性染色体畸变（包括荧光原位杂交 FISH 法）可以估计早先受照的剂量。还有其他方法如 CB 细胞微核法、早熟染色体凝聚（PCC）法及牙齿、骨骼中的 ESR 剂量测定法等。目前，牙齿中的 ESR 剂量测定法，可测量到天然本底辐射的剂量水平。

（撰写：邓志诚　审订：周永增）

shengwu jiangjie

生物降解　biodegradation　因受细菌或其他微生物作用引起的有机物的分解。生物降解作用具有双重性。一方面，微生物对有机物具有很强的氧化分解能力，它可噬取有机污染物并氧化分解为性质稳定、结构简单的无机物质。这种技术常被用来处理石油污染的土壤。同时微生物所依附的生化介质对废水中的放射性核素也有一定的吸附浓集作用，因而可用来处理低水平放射性废液。另一方面，在废物处置过程中，一旦具备微生物生存、繁殖条件，含有有机物（如塑料、树脂、沥青或有机溶剂等物质）的固化体可能会发生生物降解现象，破坏固化体的整体性，增加放射性核素的浸出率，影响废物的安全处置。这对低、中放废物的固化处理和处置来说是应予重视的问题。（撰写：范显华　审订：罗上庚）

shengwu nongji yinzi

生物浓集因子　bioconcentration factor (BCF)　化学物质或放射性核素在沿生物链转移过程中某生物体中所积累达到平衡时的浓度与其所处环境介质（如水生生物链中的水）中放射性核素浓度之比值，即

$$\mathrm{BCF}=\frac{\text{生物体内的平衡浓度}}{\text{环境中的浓度}}$$

各种放射性核素的生物浓集因子变化范围很大，与其化合物的水溶性或脂溶性有关。也可根据生物的摄取速率常数 K_u 和排除速率常数 K_d 估计出该种物质的生物浓缩因子，即 $\mathrm{BCF}=K_u/K_d$。（撰写：张永兴　审订：陈竹舟）

shengwu quwu

生物去污　biological decontamination　用微生物进行去污的过程。它是利用微生物细胞壁和细胞膜的吸附作用、沉积作用、离子交换作用、诱捕作用和微生物生成的酶及有机物引发的各种作用（如甲基化作用、脱羟作用、氧化还原作用等）来进行去污。去污时用喷枪、刷子或滚筒将微生物溶液涂覆在待去污物体的表面上，使微生物与污染物接触。当微生物耗尽污染物时，使用洗涤剂或溶剂清洗掉反应产物和微生物，这就构成了整个去污过程。因干燥会破坏微生物，故生物去

污只有在潮湿的情况下才能进行。通常可使用浸透水的凝胶或软而厚的聚氨酯来保持去污表面的湿润。微生物对人体有害，工作人员操作时应穿防护服、戴防护眼镜和防毒面具。微生物降解去污虽已成功地应用于民用设施，但对受放射性污染的建筑物和设备去污的实际应用尚未开始。微生物类型的选择、降解产物鉴定、去污效率确定、微生物反应动力学和对建筑材料的影响尚待进一步研究。

（撰写：王显德　审订：孙东辉）

shengwu yangpin fenxi

生物样品分析　bioassay　通过对人体排泄物或其他生物物质的间接分析方法（离体法）来确定人体内的放射性核素的种类、量、沉积部位和（或）其滞留份额。但近年来也有出版物把生物样品分析的定义扩大到也包括直接测量法（活体法）在内。间接分析法是通过对人体排泄物（如：尿、粪便等）或其他生物物质（如：鼻涕、鼻擦物，血液）中核素种类和含量的分析，再结合相应生物动力学模式来推算体内核素的含量等。间接分析法的优点是不限于分析能发射贯穿本领较强的核素，成本也较低，但是推算体内含量的不确定度较大。直接测量法是利用仪器通过直接测定发自体内的放射性辐射来确定体内存在的放射性核素的上述参数的方法。其优点是快速、灵敏、直接，也比较准确，但直接测量法只适用于能发射 X，γ 或高能 β 辐射的核素。间接分析法和直接测量法各有优缺点，应该根据实际情况合理选择，有时还应当结合起来使用。　（撰写：夏益华　审订：胡遵素）

shengyu shire

剩余释热　residual heat generation　反应堆停闭后堆芯内的释热。它由两部分组成：一部分是由剩余中子继续引起裂变产生的热量，另一部分是由裂变产物和中子俘获反应产物的放射性衰变释出的热量。前者随时间衰减较快，随着寿命最长的缓发中子的消失而停止；后者则通常要持续很长时间，不过随着时间的推移将愈来愈小。剩余释热的大小和随时间的变化，主要取决于反应堆停闭前的功率水平和在该功率下运行的时间长短，此外，反应堆燃料的种类（^{235}U，^{233}U，^{239}Pu）也有一定影响。尽管剩余释热功率仅为正常运行额定功率的千分之几到百分之几，但绝对值仍然不小，如不能有效载出，长期作用下有可能造成堆芯熔化等严重事故。因此能否在任何条件下将剩余释热载出是反应堆安全性的重要指标之一。

（撰写：马昌文　审订：李金才）

shikong fangsheyuan

失控放射源　orphan radioactive sources　具有足以实行审管控制的辐射危害，却没有处于审管控制之下的放射源。失控的原因或是因为从未进行过审管控制，或是由于丢弃、遗失、放错地方、被盗或未经正当授权进行转移而失去审管控制。随着核技术的发展，放射源获得了广泛的应用。在工业、农业、医疗、科研、教育等各行各业，全世界正在运行的强放射源个数以百万计。放射源的应用为人类带来了巨大的利益，却也涉及辐射照射的危险。在放射源的使用过程中，全世界已经发生过成百起严重的、甚至致死性的事故。统计资料表明，大部分产生人身伤亡的辐射照射事故是由失控放射源造成的。为了预防此类事故的发生，必须加强放射源的管理。其中最关键的因素是：国家应建立有效的法制与审管控制体系；对放射源和其他对人身与环境有显著危险的涉及放射源的活动，实施通报、登记、授证、检查的管理制度；在法规中明确规定对放射源的制造、供应、接收、贮存、使用、转移、进口、出口、运输、维修和最终处置的审管要求，使放射源全程处于合格的单位与人员的管理之下；规定获得有关授权的人对放射源安全负有首要责任；当放射源失去控制时，审管体系提供旨在恢复控制的快速响应；对有关责任人进行培训等。

（撰写：陈式　审订：陈明竣）

shiliu shigu

失流事故　loss of flow accident (LOFA)　反应堆功率运行时由冷却剂流量减少引发的事故。此时堆芯的传热能力降低，为防止燃料元件损坏，要求保护系统的控制棒迅速下插，及时降低堆功率和燃料元件表面热流密度。冷却剂流量减少的原因可能是：(1) 部分主泵失去电源；(2) 全部主泵失去电源；(3) 主泵轴卡死；(4) 主泵轴断裂。为防止和缓解失流事故，设计上应考虑的特性有：(1) 主泵电源的可靠性和备用；(2) 堆芯功率水平和功率分布不均匀性；(3) 停堆保护系统的信号和延迟时间；(4) 控制棒下落速度；(5) 泵转子的转动惯量；(6) 为实现有效的自然循环所需要的蒸汽发生器与堆芯的高度差。确定这些特性与详细计算分析失流事故密切相关，它是核电厂设计中保证安全的重要内容。

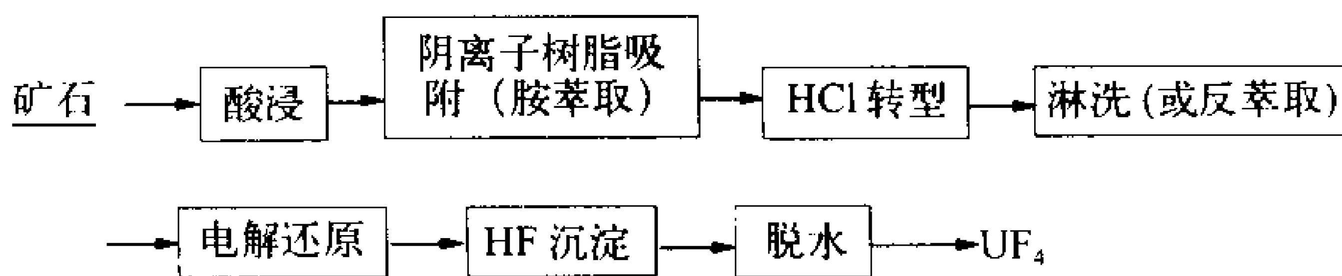
（撰写：俞尔俊　审订：陈叔平）

shishui shigu

失水事故　loss of coolant accident (LOCA)　反应堆冷却剂丧失的事故（参见大破口失水事故和小破口失水事故）。

shifa sifuhuayou liucheng

湿法四氟化铀流程　wet process for producing tetrafluoride uranium　又称埃克萨法。用 HF 溶液从四价铀盐溶液中沉淀 UF_4 水合晶体，再经过滤、洗涤、干燥和煅烧得无水 UF_4 的方法。埃克萨法是从矿石直接生产 UF_4 的工艺（见图）。该工



湿法生产 UF_4 流程（埃克萨法）示意图

艺是用树脂吸附（或胺萃取）硫酸浸出液中铀，用盐酸将饱和树脂转型，除去硫酸根等杂质，并将铀转化为氯化铀酰络阴离子。然后水洗涤，使该络阴离子分解，同时铀被解吸下来。在有氢氟酸存在的电解槽中，将六价铀还原成四价，并沉淀为水合 UF_4。最后将这种水合物进一步干燥并在 400 ℃以上脱水，制得无水 UF_4 产品。除埃克萨法外，还有温洛法、动燃法，以及我国的硫酸反萃取法简化 UF_4 生产工艺等。

（撰写：关自斌　审订：夏润身）

shifa xidiqi

湿法洗涤器　wet scrubber　使放射性废气中的微尘或放射性物质通过与水或其他液体相接触而达到净化目的的装置。在核燃料后处理厂中，用于净化废气中的放射性碘的埃奥多克丝过程 (iodox process) 和硝酸汞—硝酸洗涤器以及去除废气中灰尘和放射性物质的文丘里洗涤器等均属于湿法洗涤器。

（撰写：刘春秀　审订：贾明）

S

shifa yanghua

湿法氧化 wet oxidation 又称湿法燃烧法。利用酸或其他强氧化性物质（如过氧化氢）分解有机物的方法。湿法氧化是处理放射性可燃固体废物或有机废物的方法之一。已开发的湿法氧化技术有酸消化和过氧化氢（双氧水）催化氧化等。酸消化是用热浓硫酸和硝酸（250 ℃）浸煮可燃固体废物，将有机物转变为气体产物，无机物转变成硫酸盐和氧化物。欧化公司曾用此法处理过α废物。日本原子能研究所等采用35%浓度的 H_2O_2 和催化剂含量为 500 μg/g 的 Fe^{2+} 处理废树脂，在 100 ℃常压下进行，有机废物分解率达 95%。我国清华大学研究表明，Fe^{2+} 催化分解阳树脂，Cu^{2+} 催化分解阴树脂，H_2O_2–Fe^{2+}/Cu^{2+} 催化分解混合型树脂有很好效果。近年来开发的湿法氧化法还有复合催化氧化法，超临界水氧化（supercritical water oxidation），高温高压法（autoclave）和紫外光照射法（UV photo-reactor）等。

（撰写：范显华　审订：罗上庚）

shifa zhucun

湿法贮存 wet storage 又称水冷贮存。将自释热放射性固体废物或乏燃料放置在水池中冷却贮存。高放固体废物和乏燃料都是自释热的辐射源，将其贮存在水池中，水不仅可以用作冷却剂，还可作屏蔽材料。湿法贮存广泛应用于核反应堆和乏燃料后处理厂中的乏燃料贮存，以及强放射源（如 ^{60}Co）的贮存。为了防止水温升高、放射性物质在水中积累和不良水质对乏燃料组件、废物贮存容器的腐蚀，应设置冷却水的冷却和净化系统，保证水池中水温和水质符合规定的要求。



乏燃料贮存水池

图出处：Storage pool for spent fuels. La Hague UP2 800 reprocessing plant

（撰写：孙东辉　审订：王显德）

shi feiwu

湿废物 wet waste 又称湿固体。带水的、含固体物料的放射性废物，如废树脂、蒸发残渣、泥浆等。在核设施和核技术研究单位，广泛使用蒸发浓缩、离子交换、絮凝沉降、离心过滤等方法处理料液或废液，处理过程会产生各种湿废物。各种湿废物的组分和特性有很大区别，可采用不同的方法（如干燥、焚烧和固化等）进行处理和整备。

（撰写：孙东辉　审订：王显德）

shiliang lizi fushedu

矢量粒子辐射度 vectorial particle radiance（$\dot{\Phi}'_\Omega$） Ω与$\dot{\Phi}_\Omega$的乘积，即

$$\dot{\Phi}'_\Omega = \Omega\dot{\Phi}_\Omega \qquad (1)$$

式中 Ω 为在粒子辐射度 $\dot{\Phi}_\Omega$ 的规定方向上的单位矢量。矢量粒子辐射度的单位为每平方米秒球面度（$m^{-2}\cdot s^{-1}\cdot sr^{-1}$）。矢量粒子辐射度随能量的分布 $\dot{\Phi}'_{\Omega,E}$ 由下式给出

$$\dot{\Phi}'_{\Omega,E} = \Omega\dot{\Phi}_{\Omega,E} \qquad (2)$$

式中 $\dot{\Phi}_{\Omega,E}$ 为粒子辐射度随能量的分布。在辐射输运理论中，$\dot{\Phi}'_{\Omega,E}$ 有时称为角流密度、相位空间流密度或定向通量。

（撰写：董柳灿　审订：陈竹舟）

shiliang nengliang fushedu

矢量能量辐射度 vectorial energy radiance（$\dot{\Psi}'_\Omega$） Ω 与 $\dot{\Psi}_\Omega$ 的乘积，即

$$\dot{\Psi}'_\Omega = \Omega\dot{\Psi}_\Omega \qquad (1)$$

式中 Ω 为在能量辐射度 $\dot{\Psi}_\Omega$ 的规定方向上的单位矢量。矢量能量辐射度的单位为瓦每平方米球面度（$W\cdot m^{-2}\cdot sr^{-1}$）。矢量能量辐射度随能量的分布 $\Psi'_{\Omega,E}$ 由下式给出

$$\Psi'_{\Omega,E} = \Omega\dot{\Psi}_{\Omega,E} \qquad (2)$$

式中 $\dot{\Psi}_{\Omega,E}$ 为能量辐射度随能量的分布。

（撰写：董柳灿　审订：陈竹舟）

shiliang neng zhuliang

矢量能注量 vectorial energy fluence（Ψ'） $\dot{\Psi}'$ 对时间 t 的积分，即

$$\Psi' = \int\dot{\Psi}'\mathrm{d}t \qquad (1)$$

式中 $\dot{\Psi}'$ 是矢量能注量率。矢量能注量的单位为焦每平方米（$J\cdot m^{-2}$）。矢量能注量随能量的分布 Ψ'_E 可由下式给出

$$\Psi'_E = \mathrm{d}\Psi'/\mathrm{d}E = \int\dot{\Psi}'_E\mathrm{d}t \qquad (2)$$

式中 $\mathrm{d}\Psi'$ 为能量在 E 和 $E+\mathrm{d}E$ 之间的粒子矢量能量注量。

（撰写：董柳灿　审订：陈竹舟）

shiliang neng zhuliang lü

矢量能注量率 vectorial energy fluence rate（$\dot{\Psi}'$） $\dot{\Psi}'_\Omega$ 对立体角的积分，即

$$\dot{\Psi}' = \int\dot{\Phi}'_\Omega\mathrm{d}\Omega$$

式中 $\dot{\Psi}'_\Omega$ 为在由单位立体角 Ω 所规定的方向上的矢量能量辐射度。矢量能注量率的单位为瓦每平方米（$W\cdot m^{-2}$）。

（撰写：董柳灿　审订：陈竹舟）

shiliang zhuliang

矢量注量 vectorial fluence（Φ'） $\dot{\Phi}'$ 对时间 t 的积分，即

$$\Phi' = \int\dot{\Phi}'\mathrm{d}t \qquad (1)$$

式中 $\dot{\Phi}'$ 为矢量注量率。矢量注量的单位为每平方米（m^{-2}）。

矢量注量随能量的分布 Φ'_E 可由下式给出

$$\Phi'_E = \mathrm{d}\Phi'/\mathrm{d}E = \int \dot{\Phi}'_E \mathrm{d}t \qquad (2)$$

式中 $\mathrm{d}\Phi'$ 为能量在 E 和 $E+\mathrm{d}E$ 之间的粒子矢量注量。

（撰写：董柳灿　审订：陈竹舟）

shiliang zhulianglü

矢量注量率 vectorial fluence rate ($\dot{\Phi}'$)　$\dot{\Phi}'_\Omega$ 对立体角的积分，即

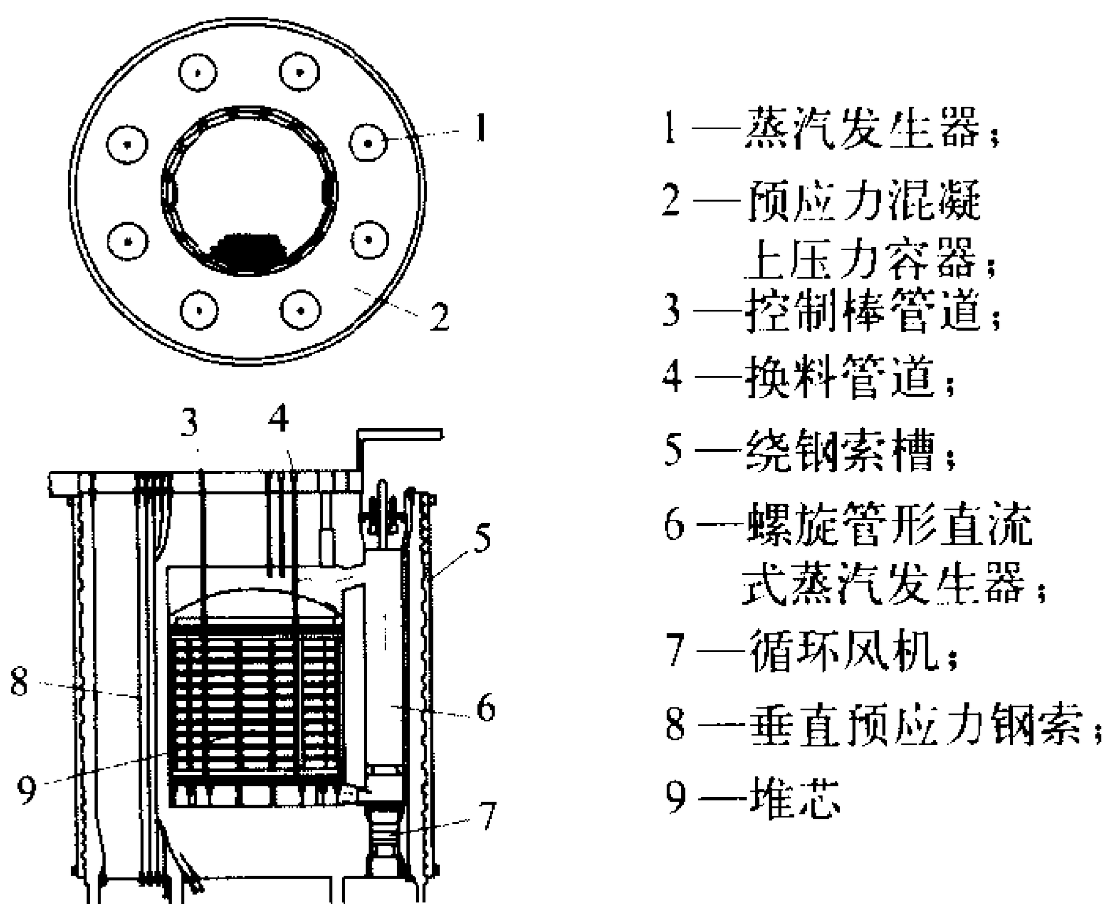
$$\dot{\Phi}' = \int \dot{\Phi}'_\Omega \mathrm{d}\Omega$$

式中 $\dot{\Phi}'_\Omega$ 为在由单位立体角 Ω 所规定的方向上的矢量粒子辐射度。矢量注量率的单位为每平方米秒（$\mathrm{m}^{-2}\cdot\mathrm{s}^{-1}$）。在辐射输运理论中，有时将矢量注量率称为流密度。

（撰写：董柳灿　审订：陈竹舟）

shimo fanyingdui

石墨反应堆 graphite reactor　以石墨为慢化剂的热中子反应堆。石墨反应堆可用天然铀为燃料，做成核燃料生产堆；可用天然铀、低富集铀或Th–U混合物为燃料，做成发电堆。按冷却介质分为石墨水冷堆和石墨气冷堆。石墨气冷堆能达到的工作温度比轻水堆或重水堆都高得多，从而得到较高热效率，也可能为高温核供热的应用开辟途径。而石墨的热中子吸收截面小，又为核燃料转换和钍资源利用创造优越条件。



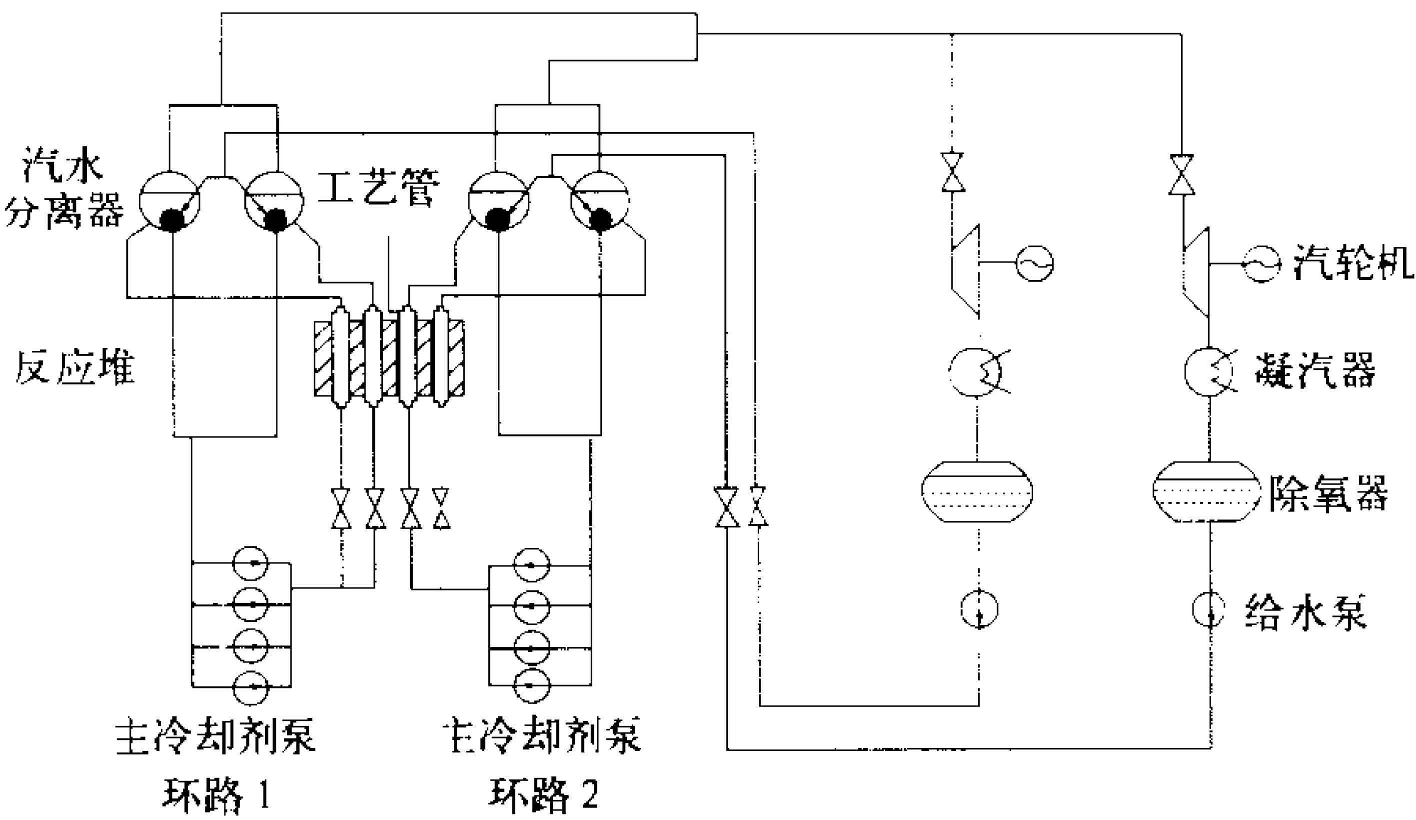
一种低富集铀、CO_2 冷却的石墨反应堆示意图

但石墨堆的体积大，造价高，因此，以 CO_2 为冷却剂的石墨气冷堆和安全性欠佳的石墨水冷堆逐渐被淘汰，以氦为冷却剂的高温气冷堆则颇有发展前途。

（撰写：连培生　审订：陈叔平）

shimo shuilengdui hedongli zhuangzhi

石墨水冷堆核动力装置 RBMK nuclear power unit　以石墨慢化轻水冷却反应堆为热源的核动力装置。这种反应堆属于压力管式沸水堆。它是在军用石墨水冷产钚堆的基础上发展起来的。苏联建成了一批电功率为1000 MW级的石墨水冷堆RBMK-1000型核电厂。切尔诺贝利核电厂就是这种堆型的核电厂。这种堆的堆芯由为数众多的正方柱形石墨块堆砌而成（见图），2488个垂直柱体构成直径11.8 m、高7 m的圆柱形堆芯。石墨块内有垂直圆形孔供安装工艺管，每根工艺管内装有束棒燃料组件。石墨水冷堆动力装置的特点是不需重



RBMK–1000水汽回路简图

型高压容器设备；堆芯由石墨单元组成，结构灵活；采用直接循环方式，换料不需停堆。但是这种反应堆的堆芯和循环回路体积庞大，运行复杂，在低功率运行时出现正的温度反应性系数，运行不稳定，安全性差，而且没有设置安全壳屏障，这是导致切尔诺贝利核电厂灾难性事故的主要原因。

（撰写：杜圣华　审订：张维忠）

shiying luanshiliyanxing youkuangchuang

石英卵石砾岩型铀矿床 quartz pebble conglomerate type uranium deposit　覆于太古代花岗岩—绿岩基底上的早元古代克拉通盆地内的石英卵石砾岩中的、古砂矿成因的铀矿床。矿床的含矿主岩是低级变质的早元古代河流—三角洲相的单矿石英卵石砾岩，被含黄铁矿高的硅质及少量长石、绢云母、绿泥石所胶结。此类铀矿床可分为两个亚类，即以铀为主含REE的矿床和以金为主的Au–U型。此类矿床在地质历史出现有严格的时限性，含矿主岩的年代范围为28～22亿年，即在地球上大规模硅铝壳出现之后和氧化大气圈出现之前。此类矿床矿石的品位很低（0.01％～0.13％U），但资源量巨大（几万吨至20万吨甚至50万吨）。

（撰写：陈祖伊　审订：赵凤民）

shibian lüboqi

时变滤波器 time-variant filter　如果一个滤波器的参数或输入、输出特性是随时间变化的，则称为时变滤波器。其线性微分方程或差分方程的系数是时间的函数，如：

$$\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t} + a(t)y(t) = b(t)x(t)$$

$$y(n+1) + a(n)y(n) = b(n)x(n)$$

式中 a，b 均表示滤波器系数。显然对时变滤波器，其输出响应并不表示为输入与单位冲激响应的卷积输出。因为单位冲激输入时变滤波器时，其响应与输入信号的输入时间有关。

（撰写：刘杰　审订：席德明）

shibubian lüboqi

时不变滤波器 time-invariant filter　一个滤波器如果它的参数与时间无关而为一个常数，或它的输入与输出的特性不随时间（独立变量）的起点而变化，则称为时不变滤波器。对一个初始不储能的滤波器，在 $t=0$ 时加入一个输入信号 $x(t)$，其输出为 $y(t)$。现若将加入信号的时间延迟 t_0，则其输出响应也作相应的时间延迟，它们之间的变化规律仍保持不变。

（撰写：刘杰　审订：席德明）

S

shijian fenbian

时间分辨 time resolution 核电子学中，确定输入脉冲时间间隔所能达到的测量精度。由于定时误差，使所测时间间隔有一定分布，常用所测时间间隔的概率密度函数的半高宽(FWHM)作为时间分辨(能力)的度量。如以半高宽和被测时间间隔的相对值度量，则称为时间分辨率。在用来测量相关事件时间距离的延迟符合装置中，所能鉴别的最小时间间隔，称为符合测量系统的时间分辨本领。

(撰写：王学武 倪建平 审订：席德明)

shijian fudu bianhuanqi

时间幅度变换器 time-amplitude converter (TAC) 输出信号幅度正比于两个输入信号间的时间间隔或正比于输入信号持续时间的电路。常用的TAC有两类：起始—停止变换器和重叠变换器。起始—停止变换器的原理是起始信号开启线性门使恒流源对积分器的电容线性充电，停止信号关闭线性门使恒流源不再对电容充电。从积分器上输出的电压与充电时间间隔成正比，从而得到所需的模拟量。重叠变换器的原理是以等脉宽T_m的起始、停止信号进行叠加，重叠部分的宽度为T，拾取(T_m-T)时间使积分器进行线性积分，积分器获得的输出电压即为所需的模拟量。TAC的主要技术指标有：变换范围、非线性、稳定性和分辨时间。

(撰写：倪建平 审订：席德明)

shijian licheng

时间历程 time history 地震地面运动随时间变化的过程，也称"时程曲线"，或简称"时程"。时程曲线有两种，一种是实际地震地面运动记录，另一种是根据给定的厂址响应谱，通过计算、"人工"制作而成的时程曲线。例如，为工程应用需要，可根据法规规定的厂址设计响应谱，计算出与之对应的人工时程曲线。由一条给定的时程曲线可以导出一个惟一的响应谱。反之，由一个给定的响应谱，可以导出无数条人工时程曲线。因此，对于人工制作所得的时程曲线，必须要求它们符合一定的条件，才能使之具有代表意义和工程应用价值。人工时程必须满足的条件如下：(1)由这种人工时程所产生的响应谱必须尽可能接近并包络厂址设计(响应)谱；(2)与人工时程相对应的功率谱密度函数必须在主要频率区段内包络由厂址设计响应谱计算得到的功率谱密度函数；(3)对应于地震地面运动空间三个分量的加速度时程必须彼此统计独立。此外，人工时程的最大加速度必须等于厂址的最大地面加速度，并且必须有足够长的持续时间。

(撰写：黄经绍 审订：张忠岳)

shijian pingjunqi

时间平均器 mean-timer 一种用以解决由于探测器本身存在延迟时间，使粒子或核辐射射入探测器后，其输出信号的出现时刻随粒子或核辐射射入的位置不同而不能准确反映射入时刻的电路。它利用各种形式不同的延迟定时器求得探测器两端输出信号的平均时间，以准确反映粒子或核辐射的射入时刻。

(撰写：倪建平 审订：席德明)

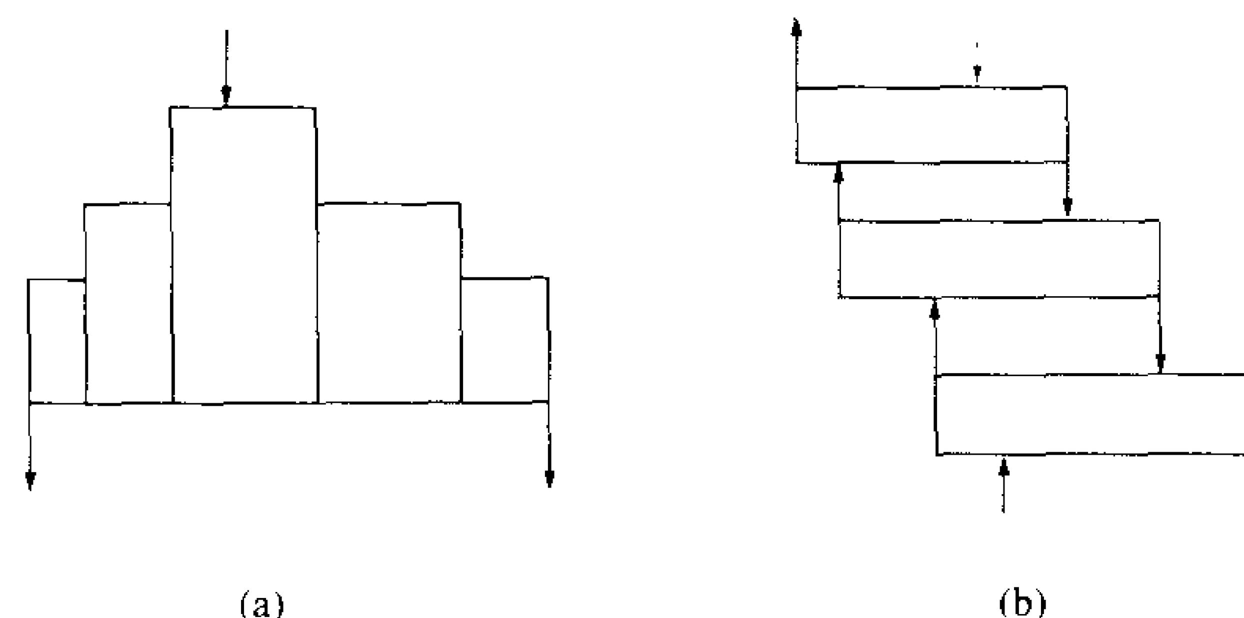
shijian shuzi bianhuanqi

时间数字变换器 time-digital converter (TDC) 将一对输入信号之间的时间间隔进行数字化的电路。通常，这一对输入信号中的一个作为起始信号，启动电路数字化。另一个信号作为停止信号，终止电路数字化。TDC有两类：一类采用直接数字编码法，另一类采用间接数字编码法。

(撰写：倪建平 审订：席德明)

shiji jilian

实际级联 real cascade 为了达到分离同位素的目的而建成的实际分离级联。以气体扩散法为例，由于理想级联要求每级流量不同而实际上不可行。实际级联通常由少数几种分离级通过一定的连接方式组成。图中方框的高度表示流量大小，宽度表示级的数目。图(a)的级联由三种不同流量的分离级组成，而图(b)只有一种分离级，两种级联的分离效率都可以达到95%以上。



级联连接示意图

(撰写：应纯同 审订：刘广钧)

shijian

实践 practice 任何引入附加照射的照射源或照射途径或扩大对附加人员的照射范围或改变现有源照射途径的网络从而使人们受到的照射或人员受照射的可能性或受照人数增加的人类活动。实践应遵循下述防护原则：(1)实践的正当性。满足于利大于害的方案可以列出一个短的名单，然后最后从中选出最佳的方案。后者通常已超出放射防护的范围。辐射危害应明确地包括在选择的过程中，但需要考虑的因素不仅是辐射危害。(2)防护的最优化。其目标是在考虑了经济和社会因素之后，保证个人剂量的大小、受照人数以及不一定受到但可能遭受的照射，全部保持在可合理做到的尽量低的程度。防护最优化涉及的判断不一定是定量的。它主要是源相关的，其所用的方法通常是对社会及全部受照人口的利益与危害，这就可能在不同个人之间引起相当大的不公平。为了限制这种不公平，引入了源相关的个人剂量约束。在最优化选择的过程中，个人剂量不得超过选定的约束值。约束是预期性的，不是回顾性的限值。(3)个人剂量限值。限值的选定不是只依据健康的考虑，而是包含着社会的判断。符合个人剂量限值的要求是必需的，但不是充分的。它不是"安全"和"危险"之间的一条分界线。也不能看做作防护体系严格程度的惟一量度。它不能用于医学照射。对于公众照射的剂量限值仅能用于人类可合理控制的辐射源。

(撰写：潘自强)

shijian de zhengdangxing

实践的正当性 justification of a practice 在实施伴有辐射照射的任何实践前，都必须确认这种实践具有正当理由，获得的利益大于代价(包括健康损害和非健康损害的代价)，也就是若引进的实践不能带来超过代价的纯利益，就不应该采取这种实践，有关审管机构也不应该准许这类实践。不仅引入新实践需要正当性判断，对业已存在的实践，当对其效益与后果有了

新的资料时，也应当审查其正当性。如果此时不再是利多于害，则应考虑撤销该实践。在分析实践的正当性时对该实践的范围大小应有合理的选择。如不宜只看核电站发电的利弊，还要考虑整个核燃料循环；如果只看放射性废物处置好像没有“利”，但作为核能和核辐射利用的实践的不可分割的组成部分，其必要性就有充分的理由。正当性判断只是决策过程的一个组成部分，且这个部分所涉及的问题往往是经济和社会因素多于辐射防护因素，因而需要更高层的决策。在辐射防护这一级，正当性判断只要求比较实践本身的利与害，使净利益为正值，而不在不同的实践间进行比较。

（撰写：张延生　审订：马吉增）

shiti fenge

实体分隔　physical separation　将各安全设备或完成同一安全功能的设备，采用几何方法（距离或方位）、结构屏障或两者结合的方法分隔开来，以使单一事件不会导致多重失效。对于某些故障原因来说，实体分隔还对功能隔离起到增强的作用。实体分隔的选择应随核设施内的不同场所而异，并且取决于对设计基准中考虑到的所有假设始发事件，还应考虑发生火灾、水淹等自然现象和化学爆炸、飞机坠毁等人为事件时能提供必要的保护。安全系统的多重部分必须作实体分隔，分隔程度要足以减少在这些系统中发生运行和维修失误的可能性。

（撰写：俞尔俊　审订：陈叔平）

shiwu baohu baojing xitong

实物保护报警系统　alarm system for physical protection　探测系统探测到异常情况时向控制部门示警的系统。在探测信号反映到中央控制室和各分控制点的同时，有声、光等信号出现，以引起值班人员的注意。常用的设备和报警技术为有线和无线电话，报警器，无线信号发生器，与探测系统相连的声、光报警器等。一般，同时采用几种不同技术的报警手段，以提高报警的有效性和可靠性。在出入口控制点，当有非法进入者企图闯入或偷入时，除在中央控制室有探测系统的信号外，在中央控制室和现场，都同时要有音响、灯光等报警信号，以及时引起值班人员注意。因为报警是一项时效性非常强的措施。因此，不论是人工报警，还是自动报警，都要强调实时报警。同时，在现场的声、光的报警信号也是对非法进入者的一个威吓性的警告。应急出入口在使用时，要有特别报警信号显示，直到使用结束为止。

（撰写：薛伟贤　审订：董柏年）

S

shiwu baohu kongzhi zhongxin

实物保护控制中心　control center for physical protection　整个实物保护系统的现场控制和指挥中心所在地。与反应堆中央控制室的功能不同，实体保护中央控制中心只是处理和储存从现场控制点、所有的探测系统、报警系统、闭路电视（监视）系统、通信系统、出入口控制点、以及各警卫人员等送来的全部信息，对所有的信号进行综合分析判断，作出处理决定，并向有关人员发出指令执行决定，向单位领导和公安部门报告。人员出入的信息，包括人名、出入时间、地点等都记录在中央控制室的计算机系统内，闭路电视的录像要保留 1～2 天，以备事后检查用。实护中央控制中心本身就是需要重点保护的设施，它是实物保护系统的首脑机关，要有一定的抵御外来侵袭的能力。中央控制中心至少需要设置在保护区内，本身建筑要和其他建筑物有隔离，并要有不低于内区实体屏障要求的实体屏障，通常是设在防弹建筑物内。中央控制中心要有保证人员生存的能力，例如，可以保证全体工作人员 5～7 天的生活物品供应和供电，保证生活用电和设备用电。

（撰写：薛伟贤　审订：董柏年）

shiwu baohu sheji jizhun weixie

实物保护设计基准威胁　physical protection design basis threats　作为实物保护系统设计要求的依据，事先所设定的一些破坏事件。设计基准威胁的规定对实体保护系统的设计是关键的数据，但是，它并不是一个固定不变的“基准”，而是随着当时的社会和政治形势发展而不断改变的，例如国内外治安情况，犯罪技术发展状况等。因此，它应由国家核安全监管机构和公安部门随形势发展协商确定某一特定时期的设计基准威胁。对于不同性质和状态的核材料，不同的核设施的设计基准威胁也不相同。例如，对于核动力厂而言，威胁主要来自放射性人为破坏；对于核燃料厂而言，主要威胁来自核材料的盗窃、非法转移和放射性人为破坏。国家核安全监管机构在核材料安全审评时，对被审评对象在核材料实物保护方面是否合格的依据，就是审其能否有效防止设计基准威胁的发生。

（撰写：薛伟贤　审订：董柏年）

shiwu baohu tance xitong

实物保护探测系统　detect system for physical protection　设置在各区之间的实体屏障周围、出入口控制点、及重要的区域、地点的技术探测设施。它们能测出在上述地点出现的异常活动、侵扰、非法穿行和进入的图谋等。常用的探测设备有闭路电视、微波墙、红外墙、应力探测、声探测、感应探测等。一般在同一地点同时采用几种不同技术的多套探测设备组合，这叫探测系统的多重性和多样性，为的是提高探测结果的可靠性和设备的抗干扰的能力。越是重要的地方，采用的组合手段就越多。在出入口控制点，对人员、车辆等的携带物要有相应的设备进行探测，防止非授权物品、工具等带入区内。探测系统本身应具备干预指示和自检能力。干预指示是指当系统受到外力干预、而又在探测系统的探测能力外时，在控制室内应有显示。自检能力是指系统本身出现故障时，在控制屏幕上有显示，提醒工作人员及时检修。

（撰写：薛伟贤　审订：董柏年）

shiwu baohu tongxin xitong

实物保护通信系统　communication system for physical protection　实物保护系统中保持各部门间的信息联络畅通的措施。它是探测系统、报警系统、中央控制室和各分控制点、指挥中心和单位领导、保安力量、公安部门及地方政府之间的联络枢纽。通常用无线、有线和微波通信等多种通信手段，确保个部门间通信的畅通。一旦出现异常情况，可以有效协调各部门的行动。为了保证各种通信手段保持随时有效，每次人员换班时，均需对所有通信设备进行通话测试。各种通信设施要处于保卫人员守护或有效监视下，防止人为破坏或意外损坏。

（撰写：薛伟贤　审订：董柏年）

shiwu baohu xitong shixiao panduan zhunze

实物保护系统失效判断准则　judgement rules of invalidation of physical protection system　在检查、监督实物保护系统时，判断该系统有效性的依据。保证实物保护系统处于有

效运行状态，是确保核材料安全的保障，也是核材料持有单位的基本职责。在经常性地检查系统运行状况时，需要判断系统运行的有效性，如事先确定一些依据则有利于工作。只要失效判断准则中的任一条成立，就认为该实物保护系统相应部分失效或整个系统失效。在失效状态下，必须按预先制定的程序布置人力保卫等补救措施，弥补系统的失效部分。一般，失效判断准则是：(1) 中央控制中心失去与外界联系能力；(2) 多重、多样的探测系统，或多重、多样的报警系统同时失效；(3) 由于实物保护系统出现故障，使应急反应时间大于非法入侵时间；(4) 由于应急反应力量准备不足，或其他任何原因，使第一应急反应力量无法在要求时间内集合所需人力；(5) 不能保证实物保护系统的完整性；(6) 出入口控制点失控，表示该道实体屏障整个失效；(7) 进入内区的通行密码丢失，表示在丢失至发现并取消密码的时间间隔内，核材料处于失控状态，也即认为在此期间，整个实物保护系统处于失效状态。要立即采取措施验证核材料的安全状态，需要时采取后续的应急措施。 （撰写：薛伟贤　审订：董柏年）

shiwu baohu yingji xiangying

实物保护应急响应 physical protection emergency response 一旦发现对核材料有威胁的异常情况或意外事件，实物保护系统应对此作出的及时反应。这对制止或防止事态的发生或扩大的行为极关键。对应急响应的要求，核材料持有者应事先在实体保护大纲详细规定，特别是对应付设计基准威胁的应急响应时间和应急反应力量有明确规定，并应经常进行演习，验证计划和培训人员，确保实体保护计划的实现。要有足够的应急反应人员，现场的警卫人员是第一反应力量，厂区的警察组成第二反应力量，所在地或城市武装警察组成第三反应力量。第一反应力量要能够处理几乎所有的异常情况，只有非常特殊的异常情况才可能动用第二、第三反应力量。从事件的发现，到应急反应人员采取措施所需时间，叫应急响应时间，应急响应时间要足够短，以便应急反应人员能及时采取措施，制止事态的发展。应急反应人力要强于非法入侵的人力。因此，足够的应急响应人力和及时的应急反应是制止破坏的必要条件。异常情况一般是指在要害区、保护区或隔离区内，或在实体屏障范围内发现有可疑物存在，或可能的人为的恶意行为；意外事件通常是指火灾、自然灾害或其他可能的人为的非恶意的行为。一旦发现这些情况，中央控制室应能即时作出反应，进行判断后立即通知应急反应人员及时赶到事发地点，并制止事态发生或发展。

（撰写：薛伟贤　审订：董柏年）

shiwu baohu zuzhi jigou

实物保护组织机构 physical protection organization 能作出决定并把每项指令有效下达到每个执行点的机构。实物保护的各个环节活动必须要在统一协调的体系下执行，才能保证有效的保护。因此，必须要有一个有效的、统一的指挥系统来完成这项任务。实物保护体系的探测系统、报警系统、通信系统都要连接到作为指挥部的中央控制室，指挥部并与应急响应组织保持密切联系。当各种信息反映到指挥部后，经过核实作出判断后，利用通信系统向应急人员下达指令，采取行动。在应急人员采取行动的过程中，指挥部要通过一切有效手段，监视事态的发展全过程。并根据事态发展情况，发出采取进一步行动的指令，确保把事件消灭在萌芽状态。

（撰写：薛伟贤　审订：董柏年）

shiyanshi bidui

实验室比对 intercomparison between laboratories 实验室之间对同一批物质、样品或同一个场地的特征量值进行的分析测量活动。参加比对活动的实验室可以使用相同的或不同的分析测量方法和仪器。组织比对活动的单位或实验室在分析测量技术上应具有权威性，负责比对测量计划的制定与实施、选择、研制比对测量用的参考物质、样品或场地，并准确定出特征量值的参考值。在比对测量实施过程中，参比实验室应在规定时间内完成对比对物质、样品或场地的分析测量并向组织单位报出结果。比对组织单位在收到各参比实验室数据后正式公布参考值，并分别告之各参比实验室及编码，比对总结报告中各实验室均以编码出现。参比实验室应根据报出数据偏离参考值的范围评估数据的质量，如果数据偏离过大，就应查找原因，改进分析测量方法。对于环境监测实验室，特别是代表国家或地方当局执行监督性监测任务的实验室，每年必须参加比对测量活动。

（撰写：黄治俭　审订：赵亚民）

shipin fushe baocang

食品辐射保藏 food irradiation preservation 一种采用电离辐射延长食品保藏时间，改善食品质量的加工方法。食品在电离辐射的作用下引起一系列的化学、生物学变化，可以杀灭食品中的微生物与害虫，抑制食品的代谢过程和生理生化反应。经电离辐射照射过的食品称为辐照食品。国际上对食品的辐照研究始于 20 世纪 40 年代，90 年代辐射食品的商业化和国际贸易化已取得显著进展。同传统食品加工中使用的热处理方法比较，食品辐照属于“冷处理”．它杀菌彻底、营养成份损失少，基本保持原有风味，也不会感生放射性；同化学法比较，食品中不存在添加剂，没有药剂残留，不污染环境；同冷藏法比较，它节省能量、保鲜期长。此外，电离辐射穿透力强，可处理预先包装好的食品，节省时间；操作易于控制，适于大规模、连续加工。辐照对食品的作用可分为三类：抑制发芽 — 抑制土豆、洋葱、大蒜等根茎类作物的发芽及对水果的保鲜（见图）；杀虫— 杀灭谷物、豆类、干鲜果、干鱼等食品中的害虫，延长食物保存期，防止病虫害的传播；灭菌—杀灭肉类等食品中的寄生虫和病原微生物。



洋葱辐照与否的保藏效果对比

左—经辐照；右—未经辐照

（撰写：包华影　审订：吕廷晓）

shiru yingji jihua qu

食入应急计划区 ingestion emergency planning zone 针对食入照射途径（食入污染的食物与水的内照射）而建立的应急计划区。该区需要做好采取较长期的防护措施（例如食物和饮水的控制、使用贮存动物饲料、区域去污及其他农业对策等）

S

的准备。食入应急计划区覆盖了烟羽应急计划区。多数国家的食入应急区半径一般小于 50 km（美国最大，为 80 km）。我国未对核电站食入应急计划区的大小作统一规定。运行中的秦山、大亚湾核电站食入应急计划区的半径分别为 30 km 和 50 km。（撰写：陈竹舟　审订：施仲齐）

shiwu he yinshui kongzhi

食物和饮水控制　control of food and drinking water　长期防护措施之一，系指为控制和减少公众因摄入污染的食物和水产生的危害而采取的措施，包括直接禁止或限制消费某些污染的食品与水，限制放射性物质从被污染的空气、土壤和水中转移到食物链中以及食品和水的处理等。控制食物和饮水，虽然应该及时进行，但通常并不认为是十分紧迫的。在事故后计划进行适当的食物和饮水控制时，必须考虑用来降低食物、饮水中污染水平的多种方案。为了降低或预防污染，控制可以安排在食物生产和分配的不同阶段进行。用干净的动物饲料替换以及对动物采用特殊的处理方法，可以减少放射性物质转移到随后的产品中。许多食品在出售以前，进行适当的处理可以大大降低其污染水平。最后，可以将食物从销售中全部撤回。此外，通常的食品制备，包括清洗和烹调，可以显著地降低食品中的放射性核素浓度，一般降低因子可高达 10。如果大量食物受到禁用就可能使食物短缺，那么应当根据禁用食物提供的防护与其造成的危害（例如，这种情况下为营养不足）之间进行权衡，来重新审查所采取的防护措施。（撰写：施仲齐　审订：陈竹舟）

shiwu lian

食物链　food chain　在生态系统中，植物摄入某种物质后，制造出（或本身就是）另一种生物的营养食物而被其食入，通过这种一系列的植物、动物、捕食与被捕食等的食物营养纽带依次连锁转移关系，最终被人食入的途径。1859 年，达尔文（C.R.Darwin）首先发现了生物之间存在着这种捕食的关系，1929 年埃尔顿（C.S.Elton）提出了食物链这一术语。食物链的类型有捕食性食物链，寄生性食物链和碎食性食物链。食物链的每一环节叫做营养级。例如放射性落下灰和核设施排放的放射性物质通过牧草→奶牛→牛奶、牛肉→人。不同营养级构成的食物链，最终被人食入构成对人的内照射。辐射环境评价中采用了这一概念。（撰写：张永兴　审订：陈竹舟）

shijie wuhequ

世界无核区　world nuclear-free zone　目前“世界无核区”尚无权威性定义。联合国大会关于建立无核区的基本原则是：无核国家自行决定是否建立无核区，自行决定无核区条约的具体条款，包括无核化程度、无核区地理范围、监督核查措施等；无核区必须包括区内所有的军事上重要的国家；一旦无核区被联合国承认，核武器国家有义务承诺尊重无核区的地位，并保证永远不对无核区使用或威胁使用核武器。世界无核区的建立和发展是防止核武器扩散的一个重要方面。1957 年，波兰提出了建立中欧无核区的“拉巴基计划”，这被国际上认为是第一次正式提出建立无核区的建议。迄今为止，与无核区有关的国际条约有《南极条约》、《特拉特洛尔科条约》、《拉罗汤加条约》、《东南亚无核区条约》、《非洲无核区条约》以及《海床条约》和《外空条约》，并相应建立了南极洲、拉丁美洲和加勒比、南太平洋、东南亚和非洲无核区。作为核军备控制领域的重要措施，无核区的建立对国际防扩散机制起到了重要的补充作用。（撰写：段占元　审订：唐西生）

S

shigu chuli guicheng

事故处理规程　accident procedures　核电装置运行偏离正常运行工况或处于事故状态下执行的操作规程。执行这些操作规程将保证反应堆处于安全状态，确保反应性控制、堆芯冷却和包容裂变产物的多重屏障保持有效。事故处理规程基本可分为两大类型，按事件导向事故处理规程和状态导向事故处理规程。（撰写：廖伟明　审订：钱锦辉）

shigu gongkuang

事故工况　accident condition　比预计运行事件更严重偏离正常运行。事故工况下放射性物质的释放可由恰当设计的事故缓解措施使之大大减少并保持在可接受的限值之内。（撰写：董柏年　审订：潘自强）

shigu huanjie

事故缓解　accident mitigation　为使事故发生时能控制、减轻或缓解事故后果，减少放射性物质释放对人员、公众和环境的影响而采取的对策和措施。事故缓解措施是把纵深防御概念扩大到事故预防之外的应用。事故缓解有三种类型，即事故管理、专设安全设施和厂外对策。事故管理是利用常规或非常规的方法停止运行，保持燃料冷却和保护放射性包容功能，使核设施处于安全状态。专设安全设施的作用是缓解事故和包容可能泄漏的放射性物质。厂外对策是采取应急保护行动来缓解对周围居民和环境的影响。（撰写：董柏年　审订：潘自强）

shigu paifang

事故排放　accident release　事故排放指辐射设施在非正常工况下放射性流出物向环境排放的行为，是一种非计划、难以控制的排放。依据事故的性质和严重程度，事故排放的放射性核素数可能是大量的，甚至会引起严重的环境后果。在辐射环境管理中，特别是在对选址阶段环境影响报告书审批阶段，对事故排放，包括严重事故排放都必须进行认真分析论证。要对事故排放的各种可能性，包括预期情景，排放核素种类与数量，严重事故概率作出可信的评估。并且依据分析和评价提出预防对策，包括设定规划限制区，制定应急计划和应急准备等。万一出现事故排放情况，一边采取紧急措施制止放射性物质向环境排放，一边立即向有关方面报告。万不可存在侥幸心理，等待自己把事故排放控制住再通报。在出现事故排放时，特别是预期有大量放射性物质进入环境，首先要考虑有效的保护公众的身心健康，要及时发布环境污染的监测资料，既要对受到污染的公众采取应急措施，也要使没有受到影响的广大公众感到放心。（撰写：赵亚民　审订：潘自强）

shigu quwu

事故去污　decontamination in accident　对因事故而受污染的系统、部件和设备等的去污过程。事故去污的特点是：去污对象的污染面积大、污染水平高；属于非计划性；为减轻或消除事故影响或尽早恢复运行，经常需要突击进行。事故去污应尽量选用高效、快速的方法，并要特别关注热点的去污。（撰写：王显德　审订：孙东辉）

shigu yufang

事故预防 accident prevention 采取适当的措施保证正常运行，防止或及时发现和纠正对正常运行的偏离，特别是防止严重的偏离发展成为事故。事故预防是核安全纵深防御战略中极其重要的一环，核设施和核活动要通过高质量地设计，建造和运行，保证其正常运行，保证偏离正常运行状态很少发生，或者设置监测系统，安全系统迅速探测出偏离，并使其得到纠正或补救，运行人员也应得到充分的培训，使他们能迅速识别初始事件，要按规程作出正确的响应，使偏离能被迅速纠正或补救，避免发展成为事故。

（撰写：董柏年 审订：潘自强）

shiguyuanxiang

事故源项 accident source terms 在事故情况下广泛使用的用以表示从给定的源中放射性物质实际的或潜在的释放信息，包括放射性物质的数量、同位素组成、释放率和释放方式。要特别注意区分不同情况下使用不同方法和为不同目的的事故源项：申请核设施或核技术应用许可证件，为评价其安全性预计事故条件下的源项；为评价安全水平、用概率论方法得到的事故源项；事故已经发生，但在放射性物质释放进入环境之前根据核设施工况估计的事故源项，以及在事故发生后放射性物质释放进入环境以后根据环境监测结果推算出的源项等。事故源项的大小决定了事故的规模和影响的范围，因而无论是在应急计划中，还是在应急响应期间，事故源项均是重要参数，是应急计划或响应的主要依据之一。在核事故的早期，对公众采取防护行动的决策主要应依据核设施的工况。因此在核事故早期，在放射性物质释入环境之前，主要依据核设施工况估计事故源项，为预测事故场外辐射后果和防护决策提供依据。

（撰写：施仲齐 审订：陈竹舟）

shijian daoxiang yingji caozuo guicheng

事件导向应急操作规程 event oriented emergency operational procedure 用于处理特定的事件或事故的应急操作规程。事件导向应急操作规程是根据已被确定的单一始发事件或至多是根据已被确定的同时重叠发生的始发事件编制的。选用规程的先决条件是操纵员必须根据所能获得的信息，找出发生特定事件或事故的特有征兆，判明并确认事件的种类与性质。在三里岛事件之前，人们深信用一组设计基准事故可以包络所有可能的事故。在这种观念下制定出了当时的事件导向规程。在三里岛事故过程中发现，这些规程有明显不足之处。因为现实不会完全按照事先研究过的顺序发生，事件导向规程不可能覆盖各种事件的可能的组合。要想增加事先确定的事故组合，势必大大增加操作规程的数量，以至于使诊断和进一步正确地选择规程难以实行。因此，在三里岛事故后，开始引入新的状态导向应急操作规程（参见状态导向应急操作规程）。

（撰写：俞尔俊 审订：陈叔平）

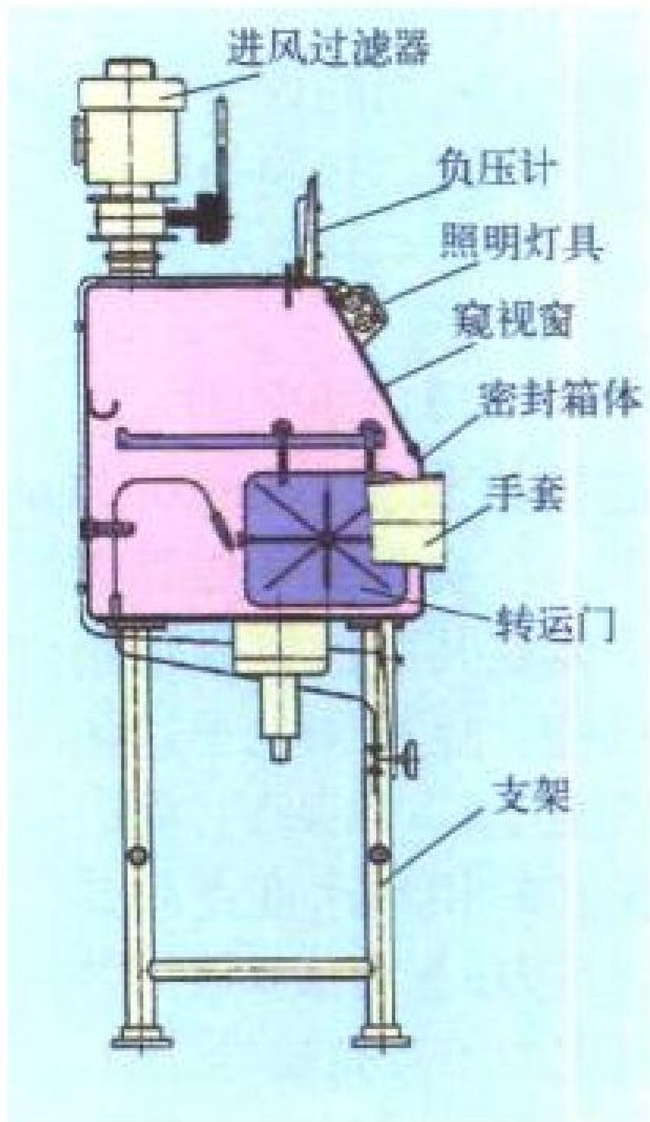
shijian xulie

事件序列 incident sequence 在系统中因假设始发事件引发的，按逻辑顺序发生的一系列事件。在核设施安全分析时，从各种假设始发事件开始，根据设计布置，按照逻辑顺序分析其系统部件和运行人员可能的动作及其后果，直至最终安全状态或事故状态，如最后导致事故状态则称为事故序列。分析和评定由各种假设始发事件而产生的事件序列是安全分析中的重要任务。分析事件序列的目的是有条理并详尽地确定假设始发事件对核设施可能造成的一切后果，以确定设施的安全是否满足核安全法规要求。安全分析中，分析每一可能发生的事件序列是不可能也是不必要的，但必须确定并详细研究对设计具有约束作用的假设始发事件和事件序列。

（撰写：董柏年 审订：潘自强）

shoutaoxiang

手套箱 glove box 用于操作α和β等放射性物质或其他有毒物质、装有操作用手套的密封箱式设备。其结构如图所示。手套箱中保持一定的负压和换气次数。手套箱也可设计成具有特定工作气氛的闭锁循环系统。箱体是薄壳结构，可用不锈钢、碳钢、塑料、有机玻璃等制造，箱体壁一般是单层的，但处理大量粉状物质时可用双层的。箱体上有窥视窗，常用钢化玻璃、有机玻璃或层压玻璃等制造。手套常用乳胶、含铅橡胶、氯丁橡胶等制造。手套箱广泛应用于核领域的工厂、实验室、分析室中。



后处理手套箱示意图

（撰写：许源振 审订：郑华铃）

shouhenglü

守恒律 conservation laws 物理体系的某些物理量不随时间变化的规律。根据内特尔定理，守恒律和对称性是密切相关的，即：如果运动规律在某一变换下具有不变性，则必然相应地存在一个守恒定律。对称性和守恒律实质上是来源于自然界中某些绝对量的不可测量性，比如空间的绝对位置、绝对方向不可测量，绝对时间不可测量等。孤立体系的能量、动量、角动量等是守恒量。

（撰写：叶沿林 审订：卢希庭）

shouduan

首端 head-end 乏燃料后处理化学分离工艺过程之前的脱壳、剪切、溶解、过滤（或澄清）、调料等过程。不同堆型乏燃料后处理首端过程不全相同。生产堆乏燃料采用碱液溶解铝包壳。石墨气冷堆乏燃料用机械脱壳像剥香蕉皮那样把镁包壳剥掉。PWR乏燃料组件是先剪去组件端头，然后将乏燃料元件剪切成短棒，落入溶解器中，用硝酸浸取溶解铀芯。对废包壳加硝酸漂洗后，用专用仪器测量废包壳中的残留铀。溶解料液还需进行过滤或沉降离心去除不溶性残渣，调节料液的酸度和钚价态，以及1 AF料液体积精密测量过程。溶解尾气需经回收硝酸，净化^{85}Kr，^{131}I及放射性气溶胶。首端的关键技术是：剪切机的安全运行和可远距离维修性；溶解过程的临界安全控制；溶解器需耐高氧化还原电位离子的腐蚀；料液澄清技术和料液体积精密测量技术。

（撰写：林懋贞 审订：郑华铃）

shouqi guanli

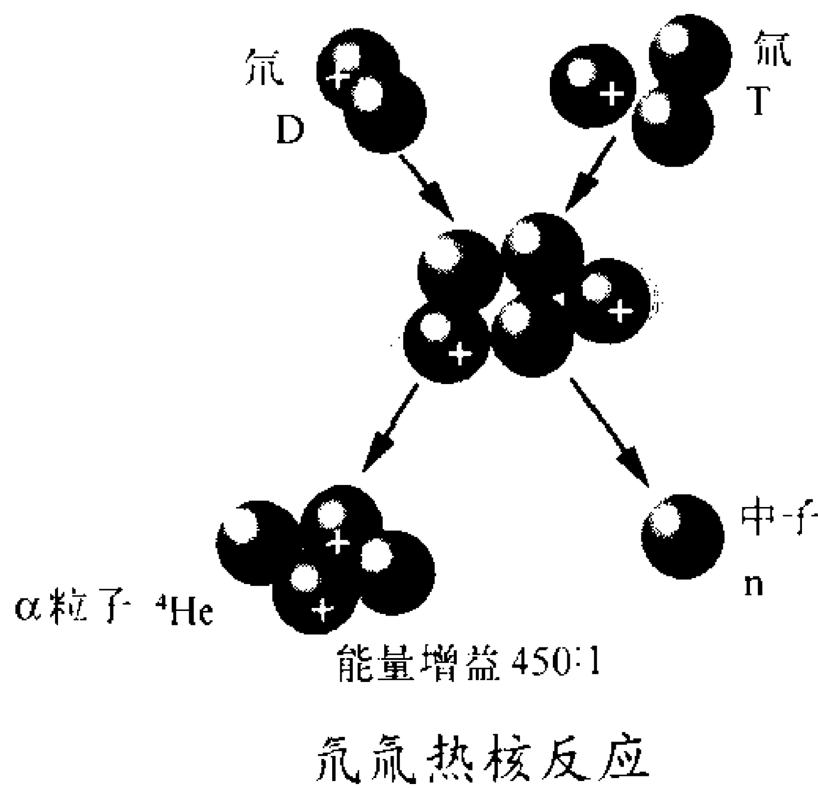
寿期管理 life management 使核动力装置达到设计预期寿期或得以延长所采取的一切措施。它是根据主设备供货商和设计单位的技术文件和运行经验反馈，筛选出影响装置寿期

的关键设备和构筑物，针对它们的老化或失效机理制定并实施运行寿期内的各种监测和评价计划，从设备、运行和维修等各方面采取措施。寿期管理要达到的目标是：(1) 使核动力装置的运行业绩和安全维持在可接受水平；(2) 使核电厂全寿期内的投资回报最大。国际核能界也常用老化管理一词并把寿期管理看做是老化管理和相关经济策划的综合。核电厂寿期管理的典型课题包括反应堆压力容器脆性失效的监督和评定、反应堆冷却剂系统部件疲劳损伤的监督和评定、蒸汽发生器的寿期管理、安全级管道材质硬化、脆化的监督和评定、安全壳寿期的评定等。反应堆压力容器和安全壳被认为是不可更换的，必须与核电厂同寿期。

（撰写：赵 昔　审订：钱锦辉）

shoukong hejubian

受控核聚变 controlled nuclear fusion 早期称为受控热核反应。在实验室加热等离子体使其中的氢同位素氘核、氚核和电子达热核温度（≥10 keV），而以极高的相对速度克服其间斥力，聚合成α粒子并释出中子及能量（见图）。氢弹爆炸成功后引起物理学家对受控核聚变研究的兴趣，企求获得一个安全的、干净的、用之不竭的新能源。



氘氚热核反应

（撰写：丁厚昌　审订：钱尚介）

shou yu neng

授与能 energy imparted（ε） 电离辐射授与某一体积中物质的能量，其等于沉积在该体积中的所有能量之总和，即

$$\varepsilon = \sum_i \varepsilon_i \tag{1}$$

在这里，要对该体积中发生的所有能量沉积ε_i求和。授与能的单位为焦耳（J），也可以电子伏(eV)表示。电离辐射给予某一体积中物质的平均授与能$\bar{\varepsilon}$可由下式给出

$$\bar{\varepsilon} = R_{in} - R_{out} + \sum Q \tag{2}$$

式中 R_{in} 为进入该体积的所有带电和非带电致电离粒子的辐射能量；R_{out} 为离开该体积的所有带电和非带电致电离粒子的辐射能量；ΣQ 为在该体积内发生的核和基本粒子的一切静止能量变化之总和（Q > 0 为静止能量的减少，Q < 0 为静止能量的增加）。

（撰写：董柳灿　审订：陈竹舟）

shou zheng

授证 licencing 又称授予执照。对具有高风险的辐射实践活动的一种批准形式。批准予以授证的前提是：申请进行某一辐射实践活动并对其负责的法人已按审管规定要求编制并向审管部门提交了进行该实践活动及其有关设施、设备的安全分析报告和（或）环境影响评价报告。审管部门批准时还会视情况附加相应的条件或限制。适用于以授证形式批准的辐射实践活动的安全分析和（或）环境影响评价的要求以及批准时所附加的条件或限制，应严于以注册形式批准的辐射实践活动。

（撰写：吴德强　审订：华 旦）

shushui cuihuaji

疏水催化剂 hydrophobic catalyst；wetproof catalyst 用于氢—氚水液相催化交换（LPCE）反应的催化剂。疏水催化剂与亲水催化剂的区别在于它的载体是憎水的，因此允许接触水而不发生中毒问题。早期的疏水催化剂主要是将铂-Al_2O_3用硅酮等憎水性材料加以处理。目前的疏水催化剂分为聚四氟乙烯和树脂两类。日本、比利时和俄罗斯等国主要研究不同比例的苯乙烯—二乙烯基苯共聚物树脂作载体的铂疏水催化剂，加拿大和印度则主要研究聚四氟乙烯类为载体的铂疏水催化剂。这些疏水催化剂不但有很大的活性，而且其物理性能和机械强度很好，在填充床中的水力学特性、耐氚辐照性能以及单程寿命和再生可行性方面都有较满意的结果。

（撰写：韩延德　审订：卢浩琳）

shudian dai

输电带 transmission belt 见充电系统。

shudian lian

输电链 transmission chain 见充电系统。

shudian ti

输电梯 transmission lift 见充电系统。

shu baoluo fangcheng

束包络方程 beam envelop equation 决定束流包络变化的动力学方程。包络是指包含全部束流粒子的束流边界。对于连续性束流，只存在横向包络。对于非连续性束流，既有横向包络，又有纵向包络。因此，相应的包络方程也包括横向包络方程和纵向包络方程。由于像高斯分布这样的束流分布，其包络在无穷远处，上述意义上的包络方程没有任何意义。这时，有意义并与包络方程对应的是关于束流的有效束流半径的方程。对于K-V分布的束流（电荷密度为常数的连续性束流），其横向包络方程为

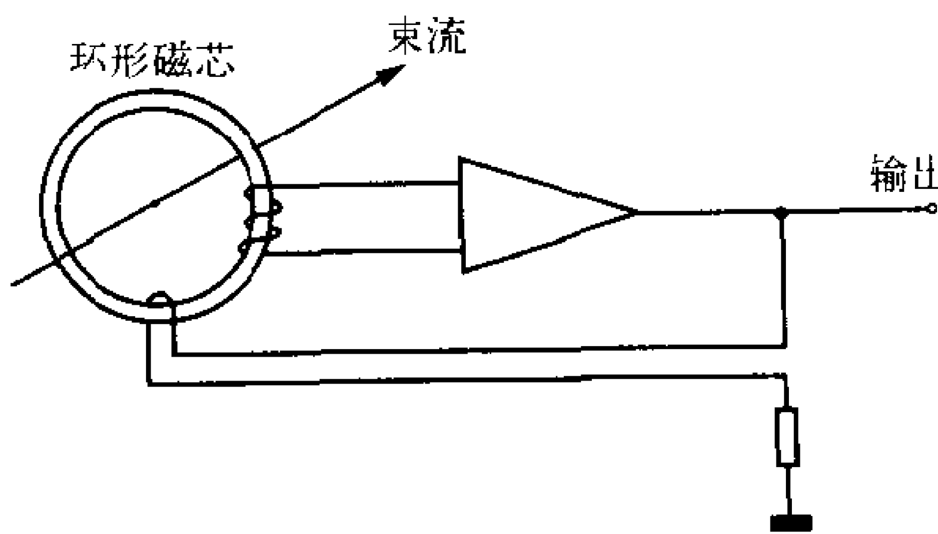
$$\begin{cases} X'' + k_{x0}^2 X - \dfrac{2K}{X+Y} - \dfrac{\varepsilon_x^2}{X^3} = 0 \\ Y'' + k_{y0}^2 Y - \dfrac{2K}{X+Y} - \dfrac{\varepsilon_y^2}{Y^3} = 0 \end{cases}$$

式中 X，Y 分别是束流在 x 方向和 y 方向的包络；k_{x0}，k_{y0} 是外场在 x 方向和 y 方向产生的聚焦常数；ε_x，ε_y 分别是束流在 x，y 方向的发射度；K 是广义导流系数。

（撰写：欧阳华甫　审订：王传英）

shuliu bianyaqi

束流变压器 beam current transformer 非阻拦式带电粒子束流的波形与流强测量装置（见图）。它由探头和电子测量线路组成，通常用于测量微秒级和毫秒级的束流脉冲，采取必要措施后亦可用于测量纳秒级或亚纳秒窄脉冲，并可用于测量脉冲束流的直流分量。探头为一环形磁芯，安装在束流真空管道上，其



束流变压器示意图

S

上绕有感应线圈。当束流脉冲穿过磁芯时，可从感应线圈上提取出束流脉冲波形和瞬时流强信号。它的测量精度通常为百分之几，采用反馈法减小励磁电流可使测量精度提高到0.1%～0.01%。测量窄脉冲时，需在线圈匝间加阻尼电阻，若测量大电流脉冲则需使用无感电阻负载，在测量束流直流分量的电路中，还要使用调制与解调技术。

（撰写：郭之虞　审订：关遐令）

shuliu chuanshu xiaolü

束流传输效率 beam transmission efficiency　加速器系统中的出射粒子数与入射粒子数之比。它的大小取决于多种因素。首先，粒子束在传输和加速过程中，同真空中的残余气体的原子和分子的相互碰撞，会改变粒子的电荷态或传输方向，从而造成粒子数的损失。粒子碰撞截面与粒子的速度成反比，对能量越低、粒子质量数越大其碰撞损失也越大；系统中的真空度越好，其单位体积内残余气体的原子和分子数就越少，束流传输效率也越好。其次，加速器系统的束流光学的匹配状况是影响束流传输效率的另一个重要因素。如果在传输过程中出现相空间的失配，束流传输效率必将下降。下降的多少取决于粒子在六维相空间的密度分布状况及失配系数。相空间的失配的原因在于设计的不合理、光学元件的非正常运行、非线性效应及空间电荷效应引起的束流发射度的增长及束晕的生成等。对一些特殊束流的传输损失机制，还应考虑到诸如负离子束传输过程中的失荷、双原子束传输过程中的裂解、短寿命放射性核素传输过程中的衰变以及极化束传输过程中的退极化等因素。

（撰写：关遐令　审订：王传英）

shuliu daoxiangqi

束流导向器 beam steer　利用电场或磁场对运动的带电粒子运动的方向和位置进行校正的装置。它分为电导向器和磁导向器两种。电导向器工作原理如图所示。图中A，B为一

静电导向器工作原理图

A，B—电极板；a—板长；d—板间距；L—漂移距离；D—导向距离

对金属板，两个板上分别加以正负电压V，在两电极板间产生静电场$E=2V/d$。一个具有一定能量eV_0的粒子，进入导向器内，在电场作用下将被导向，其导向距离$D=\dfrac{Va}{V_0 d}\left(\dfrac{a}{2}+l\right)$。同理，离子在两个磁极间的均匀磁场中也会被导向。对低能束导向一般采用电导向器，而磁导向器适用高能束的导向。

（撰写：秦久昌　审订：关遐令）

shuliu de sesan

束流的色散 beam dispersion　由于带电粒子束本身存在着某些物理量的分散使得粒子在束流光学元件的电、磁场的作用下，具有不同的回转半径或不同的偏转角度，最终在像点处发生空间的歧离，歧离的大小正比于分散量的大小，这种现象称为束流的色散。它是与不同波长的光在介质中的光学色散相类似的现象。束流的色散可被用来进行束流的动量分析，能量分析、质量分析和速度分析等，也可以被用来进行电荷态选择及实现束流的色散匹配传输等。但在另一方面为了提高具有能散的粒子束的传输效率，则需要消除这种色散，组成消色散系统。具有色散性能的光学元件有二极磁铁、静电分析器和速度过滤器等。

（撰写：关遐令　审订：王传英）

shuliu donglixue

束流动力学 beam dynamics　旧称粒子动力学 (particle dynamics)。研究带电粒子束流在传输线和加速器的电磁场作用下运动规律。一个带有电荷量为Ze、以速度v在电磁场中运动的粒子受到的电磁力F为

$$F=ZeE+\frac{Ze}{c}(v\times B)$$

式中E和B分别为电场强度和磁感应强度。这里的场不仅有外加电磁场，还包括束流的空间电荷场、束流在周围环境中激起的电磁场（尾场）、真空盒里残余气体分子组分和其他外来粒子产生的电磁场以及各种电磁干扰场等。不同类型的施力电磁场对应于束流动力学的不同研究范畴。外加电磁场对应于束流的偏转、聚焦、加速、补偿、校正、注入、引出和各种误差效应等。在研究外加电磁场效应时，通常不考虑其他电磁场的作用，粒子被视作孤立的和单独的，相应的动力学为单粒子动力学。空间电荷场对应于束流的空间电荷效应，在非相对论性强流的情况下必须考虑。束流对撞时的空间电荷场对应于束一束效应。尾场将引起频移、束团中粒子分布变化和单束团与多束团不稳定性等。外来粒子的电磁场会引起各种外来粒子不稳定性。上述除单粒子效应以外的效应均为束流集体效应。由于电磁场是非线性的，这些效应也都是非线性效应。只考虑线性场的束流动力学称为线性束流动力学。

（撰写：张闯　审订：王传英）

shuliu fuzai xiaoying

束流负载效应 beam loading effect　当带电束流通过加速腔时，由于束流电荷感应场的存在，使腔中实际加速电压比空载时有幅值的下降和相位的移动，这种束流对腔场的影响称为束流负载效应。束流负载基本定理指出，束流只感受到自身感应电压的一半：$V_{\text{eff}}=1/2\ V_b$，$V_b=2kq$为束流负载电压，其中q为束团电荷，$k=\dfrac{\omega}{4}\dfrac{R}{Q}$是由高频腔频率$\omega$和几何因子$R/Q$所决定的参数。稳态束流负载对腔电压的影响常用相量图表示，如图所示。

V_c—束流感受到的腔电压；
V_c^+—束流通过前的腔电压；
V_c^-—束流通过后的腔电压；
V_g—由功率源提供的电压；
φ_s—空载时的束流加速相位；
ϕ—有束流负载时的束流相位

束流负载的向量图

由图可得，$V_a=V_c\cos\phi=V_g\cos\varphi_s-\dfrac{1}{2}V_b$是在有束流负载时，束流感受到的实际加速电压大小。

（撰写：傅世年　审订：张闯）

S

shuliu guangxue

束流光学 beam optics 用几何光学的方法研究束流粒子的运动轨迹及束流传输的整体性质。粒子束在外场中的运动与光线在媒质中的传播非常类似，可以把传输系统中各个聚焦元件当作一个个光学透镜来看待。几何光学中的物理概念如主平面、焦距、物、像、色散等都可以用在这里。在旁轴近似的条件下，束流光学退化为旁轴光学。这时，不会产生任何几何相差。然而，旁轴运动只是一种近似，场的高次项从各方面使像变得不完善，产生各种像差，其中最重要的缺陷是球面像差。另外，还有因能散引起的色散像差。当束流的流强很大时，还必须考虑粒子的空间电荷效应对成像的影响，这是束流与光线所不同的地方。

（撰写：欧阳华甫　审订：王传英）

shuliu jiti xiaoying

束流集体效应 beam collective effects 束流在加速器中所受到的除外加电磁场以外的电磁场引起的各种效应，包括空间电荷效应、束流与残余气体中原子核和电子的弹性和非弹性碰撞、束流与外来粒子的相互作用、束流内部粒子散射、束流与环境的相互作用以及束流与束流的相互作用等。束流集体效应随流强提高而增强。空间电荷效应在非相对论情况下较为显著；束流与残余气体的作用则与真空度密切相关；束流与外来粒子的相互作用包括离子俘获、离子灰尘俘获、快离子不稳定性和光电子效应等；束流与环境的相互作用常用尾场和耦合阻抗来描述，两者以傅里叶变换相联系；而束流与束流的相互作用则是对撞机特有的效应。依照束流集体效应发生的方向，可分为纵向效应和横向效应。依照束流集体效应发生的机制，又可分为长程效应和短程效应，分别对应于多束团效应和单束团效应。束流集体效应引起粒子振荡频率改变、束流分布变化、束团的振荡、束流寿命下降和束流不稳定性等现象。　　（撰写：张闯　审订：王传英）

shuliu jushuqi he sanshuqi

束流聚束器和散束器 beam buncher and debuncher 分别实现束流纵向聚束和散束的束流光学元件。聚束器的作用是以增加束流能散为代价来压缩束流的脉冲宽度；而散束器的作用是以增大束流脉冲宽度为代价来减少束流的能散。二者作用原理相同，只是工作相位不同。束流聚束器和散束器都是由一个高频谐振腔组成。当一个束团通过高频间隙时，适当的相位布置，可以使得在时间上相对于中心参考粒子超前的粒子，受到一个相对减速作用。而在时间上相对于中心参考粒子滞后的粒子，受到一个相对加速作用。这样经过间隙的调制，再经过确定的漂移距离之后，即可以实现束流的聚束。相反，选择另一种相位，即可实现束流的散束。通常粒子束经受的调制或者是一个正弦波电压，或者是一个由基波和其谐波叠加形成的模拟锯齿波电压，前者称为速调管式聚束器，后者称为谐波聚束器。　　（撰写：关遐令　审订：王传英）

S

shuliu lengque

束流冷却 beam cooling 粒子束通过某种作用使其相空间体积减少的过程。束流冷却方法主要有电子冷却、随机冷却和激光冷却。电子冷却的基本思想是将单色性和准直性非常高的均匀电子束注入到储存环的一个直线段，电子的平均速度与离子束相同，两束发生库仑作用（弹性碰撞）非理想离子将其横向与纵向的能量偏离转移给电子，由于电子束不断更新，离子束的热运动逐渐与电子束接近，从而得到冷却。随机冷却的基本思想是在储存环中的相对与中心离子轨道有一位置偏离的非理想离子通过放置在储存环中的拾波器时，拾波器感应一个与位置偏离成正比的电信号，该信号被放大后使得放置在拾波器下游某一确定位置上的弹踢器产生一个相应的电场，该电场作用于离子产生一个反向的角向偏转。这样就可以减小振荡的振幅而削弱非理想离子相对于中心轨道的偏移，从而达到冷却目的。激光冷却需借助与粒子束平行和反平行运动的两束激光，激光频率应接近粒子的某一受激跃迁频率，这一跃迁频率相应的低能级必须有可以发生跃迁的电子。在激光场中，粒子束将感受到一个辐射压力（即冷却力），速度比理想离子小的离子与平行运动的激光发生共振被加速，速度比理想离子大的离子与反平行运动的激光发生共振被减速，从而达到冷却目的。

（撰写：原有进　蔡晓红　审订：魏宝文）

shuliu poumianyi

束流剖面仪 beam profile monitor 测量带电粒子束流在水平和垂直方向上密度分布的装置。其工作原理是用一细丝沿水平或垂直方向扫描，同时记录所测得的束流强度，结果一般用示波器显示。由于测量束流剖面时通常只观察其形状与位置，而不关心束流强度的绝对值，故可利用二次电子的放大效果来提高测量的灵敏度。束流剖面仪依扫描方式不同主要有旋丝式与振叉式两种。束流剖面仪属非阻拦式束流测量装置，主要用于监测束斑在水平与垂直方向上的大小及中心位置，是束流传输线上用聚焦透镜和导向器调束时的重要监测手段之一。　　（撰写：郭之虞　审订：关遐令）

shuliu qiegeqi

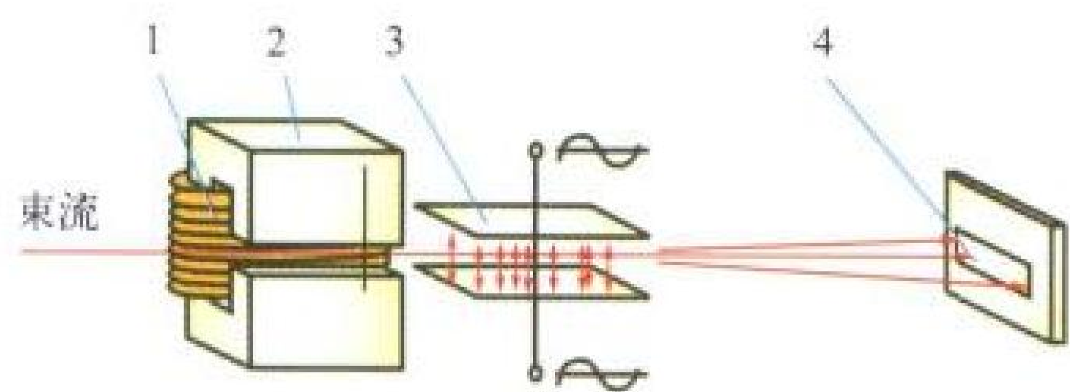
束流切割器 beam chopper and septum 采用偏转场将束流从纵向或横向进行分割的装置。用于纵向和横向切割目的的是两种不同的装置，英文使用两个不同单词，纵向切割的为 chopper，横向切割的为 septum，而中文采用了同一名词。chopper 是一种从束流中去除一段纵向束段的装置，通常由一个束流偏转器和一个束流狭缝构成。这种装置可用于将来自直流离子源的束流脉冲化；也可安装在作为注入器的强流离子直线加速器低、中能段，去除宏脉冲中的一些微脉冲束团，以使束流注入到累积环后，引出时的粒子损失减少、从而避免强放射性；还可用来修整脉冲的头尾，形成整齐的脉冲。septum 是一种利用界面上的偏转场把束流从横截面上分开的装置。按偏转场的类型，可分为磁切割器和静电切割器两类。在磁切割器中，由于切割板的材料不同，又有铜切割器和铁切割器两种。静电切割器利用静电场偏转束流。这种装置常用在圆形加速器的注入和引出系统中。

（撰写：傅世年　审订：张闯）

shuliu saomiaoqi

束流扫描器 beam scanner 利用交变的磁场和（或）电场将束流散开的装置。基本的扫描方式有 3 种：电扫描，磁扫描和电磁联合扫描。其基本结构及工作原理如图所示。电扫描器主要由扫描电源和扫描电极板组成。理想的扫描电源应是频率1～2 kHz 的三角波电源，但由于高电压三角波电源制造上的困难，通常用正弦波电源代替。三角波电源的扫描器可以获得更为均匀的扫描结果。扫描电极板为两个长方形平行金属板，两电极板之间的距离一般为几厘米，板宽应远大于

束斑的直径，以使离子中心轨道上有一均匀的电场区。板长度取决于离子的能量，漂移距离，所需展开的束斑宽度及扫描电源的电压峰值。磁扫描器由扫描磁铁和励磁电源组成。电源的要求与电扫描器电源基本相同，但一般采用低电压大电流供电方式。扫描磁铁的铁芯一般是用薄矽钢片叠制而成的，铁芯的一侧安装激磁线圈，另一侧开有一高度 20～30 mm 的气隙作为束流通道。当激磁线圈供电时，气隙中就形成了一垂直于截面的交变磁场，束流在磁场的作用下反复



电磁联合扫描器示意图

1—线包；2—扫描磁铁；3—扫描电极板；4—靶位

偏转，达到散开的目的。当需要束流在 XY 平面两个方向上都展开时，采用电磁联合扫描器则较为理想。

（撰写：杨丙凡　审订：关遐令）

shuyun

束晕　beam halo　束流在加速或传输过程中产生的，存在于束流主体(束核)周围的一个半径很大的稳定束圈(见图)。束晕被刮束器刮掉后，又有新的粒子从束核出来形成束晕。束晕是强流加速器中的一种普遍现象。束晕产生的直接原因是束流起始分布的不匹配及粒子密度分布的不均匀等。但其产生的内在原因则是空间电荷力的非线性。在强流直线加速器中，非线性力可以引发各种级别的共振及混沌区的产生。束核粒子可以通过混沌区出来形成束晕，束晕粒子也能借混沌区回到束核。束晕因半径大而容易损失，成为阻碍加速器流强进一步提高的一个重要原因。目前，对束流的研究方法有模型分析和计算机模拟等。

束晕示意图

（撰写：欧阳华甫　审订：王传英）

shuzhi kuangjiangfa

树脂矿浆法　resin-in-pulp process　见矿浆离子交换。

shuzhi rongliang

树脂容量　resin capacity　全称树脂交换容量。单位离子交换树脂所含交换离子的数量。它表示树脂具有的交换能力。单位树脂所含活性基团或可被全部交换时的容量为树脂的总交换容量，也称理论容量。给出树脂总容量时，应注明树脂的型号(也称类型)：对于阳树脂，可用 Na^+ 型或 H^+ 型；对于强碱性阴树脂，一般用 Cl^-型；对于弱碱性阴树脂，一般用游离胺型。此外有穿透容量（参见吸附曲线)；饱和容量是指在使用条件下树脂离开吸附时所能获得的容量，该值高于穿透容量而低于总容量。上述容量均可采用 mmol/g 或 mmol/mL 为计量单位，前者相应于干树脂的质量容量，后者相应于湿树脂的沉降体积容量。工业上一般用已吸附的离子的质量来表示，容量单位相应为 mg/g 或 mg/mL。

（撰写：许根福　审订：关自斌）

shuzhi zaisheng

树脂再生　resin regeneration　使离子交换树脂恢复原来的物理化学性能的过程。在铀水冶过程中，通常的再生剂及其可去除的毒物如下：(1) 碱性溶液，可去除树脂上的硅和有机物 (3 %～5 % NaOH 溶液)、连多硫酸盐 (10 % NaOH)、钼 (0.5 %～10 % NH_4OH)，向上述溶液中加入氯化钠等盐类，可提高再生效果；(2) 酸性溶液，可去除铁矾和钛、锆、钍等毒物，除了去除铁矾一般用 3 %～5 % H_2SO_4 溶液外，余者需用 20 %～25 % H_2SO_4 溶液；(3) 带有氧化性的溶液，如 0.5 mol/L (HNO_3+NH_4NO_3) 也可去除连多硫酸盐；0.3 %～0.5 % (NaClO+NaOH) 也可去除有机物。当树脂上有多种毒物且中毒较严重时，一般先用 2 % NaOH 或更浓的碱溶液处理，再用盐溶液转型，最后用较高浓度 (20 %) 的硫酸溶液处理。

（撰写：许根福　审订：关自斌）

shuzhi zhongdu

树脂中毒　resin poisoning　某些吸附于离子交换树脂上的杂质离子或分子，不能由正常的解吸过程将其解吸下来，而随树脂长期使用而逐渐积累，直到显著影响树脂的离子交换性能的现象。造成树脂中毒的物质称为毒物。树脂中毒分化学中毒(由钴氰化物、钼等引起)及物理中毒（由铁矾、元素硫等引起）或兼有物理和化学两种因素(由 SiO_2、有机物等引起)。多数为暂时性中毒，少数为永久性中毒。

（撰写：许根福　审订：关自斌）

shuzhi zhuanxing

树脂转型　converting of resin form　用适宜的溶液将树脂上原先可交换离子(如Cl^-或OH^-等)转变成其他适宜的可交换离子(如 SO_4^{2-}) 的过程。此过程并非利用树脂进行吸附或解吸，只是为了更有利于其后的操作如改善铀的吸附，防止设备腐蚀、减少环境污染或有利于树脂本身等。强碱性树脂提铀工艺中可能遇到的三种转型处理为：Cl^- 型树脂用硫酸进行转型，NO_3^- 型和 OH^- 型树脂用 NaCl 转型处理。

（撰写：许根福　审订：关自斌）

shujing fangshi dixia heshiyan

竖井方式地下核试验　shaft nuclear test　从地面垂直向下开凿竖井，将核装置放置到井底进行的核试验。竖井方式的核试验要开凿一个大口径的深井，将核装置连同物理测量设备、探测器需要的屏蔽物质、测量用的电缆、引爆控制电缆等一起吊放到竖井底部，然后把井筒按预定方案进行回填，最后实施核爆炸。为了安全可靠地布置核装置、准确安装探测器和准直管道，需要设计制造一个安装调试钢架，所有的设备都固定在这个钢架上。为了实现封闭式爆炸，竖井的比例深度要求达到 $120\ m/(kt)^{1/3}$以上，对于万吨级的核试验，井深要达到 300 m 以上，开凿核试验用的竖井是一项很大的工程。当竖井底部已经处于地下水位以下时，核装置核测量设备的防水问题将是核试验中一项重要的技术。

（撰写：吕敏　审订：乔登江）

shuzi fushe chengxiang jizhuangxiang neirongwu jiance

数字辐射成像集装箱内容物检测 DR container inspection system 带有电离辐射源和辐射仪表，基于数字辐射成像原理对集装箱内容物进行扫描检测的一类系统。数字辐射成像集装箱内容物检测系统主要由辐射源、阵列探测器、传输装置、数据获取和图像显示系统组成。将辐射源的射线准直成扇形束，透过集装箱，经辐射探测可获得集装箱内容物的二维扫描图像。这一检测系统按使用的辐射源可分为加速器、放射性同位素和X光机三种类型。按运行方式又可分为固定式、车载移动式和组合移动式三种类型。数字辐射成像集装箱内容物检测系统是安装在港口、陆路口岸、铁路和空港的大型缉私设备。

（撰写：刘以思　审订：吕延晓）

shuzihua yibiao he kongzhi xitong

数字化仪表和控制系统 digitalized instrumentation and control system 由微处理机的模数转换、功能控制、系统通信、在线诊断、实时显示和控制输出（数—模转换）等软、硬件功能模块组成的仪表控制系统。与模拟仪表和控制系统相比，数字化仪表和控制系统的可靠性与精度高、漂移少、可测试性与可维修性强、人机界面友好，而且具有前者所欠缺的网络通信、故障诊断和故障定位能力，特别是能将人工智能（基于数据库、知识库和各种专家系统）等融入到系统之中，大大强化了系统的控制能力、自动化水平、信息综合处理与显示能力。它已广泛应用于国防、航天、航海、电力等各种行业。在核电厂中，数字化仪表和控制系统应包括：(1) 反应堆保护系统、专设安全设施驱动系统和事故后监测系统等，其系统软件、应用软件与硬件模块须分别经过1E级的验证与确认，须考虑防止软件与硬件引起的共模故障、单一故障等；(2) 反应堆功率控制系统、稳压器压力与液位控制系统、蒸汽发生器给水控制系统、蒸汽旁路排放系统等，其软件与硬件组成的模块与系统要有较高的可靠性，并至少达到工业级水平；(3) 智能报警与智能诊断系统、计算机化人机界面支持系统等，其专家逻辑组成的软件系统须经过充分的工程验证。

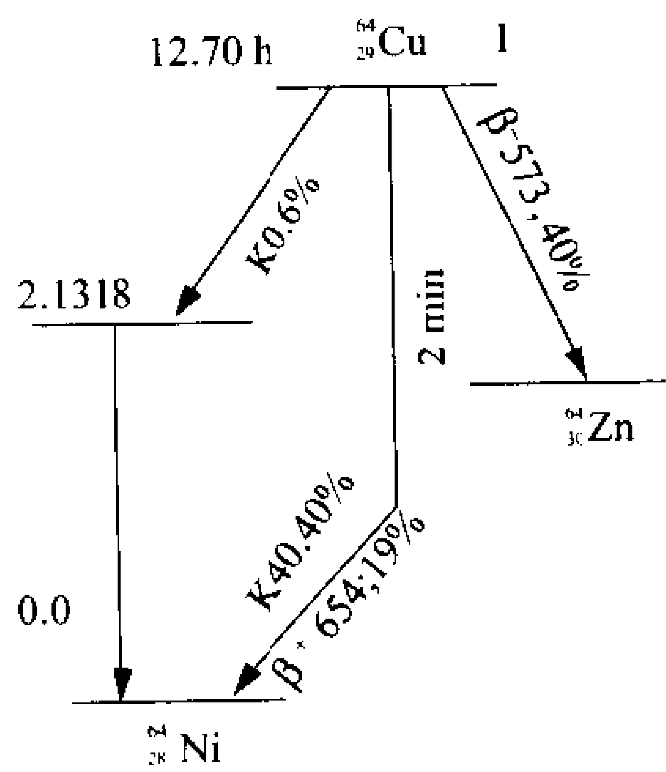
（撰写：郑明光　审订：曹关平）

shuaibian changshu

衰变常数 decay constant 见半衰期。

shuaibian gangtu

衰变纲图 decay scheme 核衰变能级图，通常叫做衰变纲图。通过衰变纲图，人们可以一目了然地看到每种核素衰变时放出哪些射线，以及它们之间的相互关系，从而获得关于衰变过程和各种射线的完整图像。核谱学专业人员在分析、比较和综合处理各家实验数据的基础上，对各种核素推荐出比较准确和可靠的衰变数据，从而建立了大量的衰变纲图。需要指出的是，随着原子核理论与实验技术的改进，衰变纲图将会不断地完善和更新一些数据。作为例子，给出 $^{64}_{29}Cu$ 的衰变纲图。



$^{64}_{29}Cu$ 的衰变纲图

（撰写：陈金象　审订：卢希庭）

shuaibianlian

衰变链 decay chain 一个放射性核素A逐次衰变直到衰变至一个稳定核素或发生裂变为止的整个过程。例如



$$^{99}Nb \xrightarrow{\beta} {}^{99}Mo \xrightarrow{\beta^-} {}^{99}Tc \xrightarrow{\beta^-} {}^{99}Ru(\text{稳定})$$

就是一个β衰变链。人们最早研究的衰变链是自然界存在的钍系、铀系和锕系3个天然放射系。以后，又用人工方法制备了许多新的放射系，例如镎系。

（撰写：施兆民　审订：卢希庭）

shuaibianneng

衰变能 decay energy 核衰变前后诸粒子的静止质量之差所对应的能量。它也是子核的反冲动能与母核衰变放射出粒子的动能之和。显然，衰变能大于零是核衰变的必要条件。

（撰写：陈金象　审订：卢希庭）

shuaibianre

衰变热 decay heat 由放射性核衰变过程中释放出的能量转化的热量。不同的核衰变释放出的能量也不同。如放射出α粒子或质子，则衰变能为粒子的动能加上核的反冲动能。β^+ 衰变的能量为放出正电子的最大动能加上两倍电子静止能量（即正电子湮没时放出的最小能量）。β^- 衰变的能量为放出电子的最大动能。γ衰变的能量即γ射线的能量。对反应堆来说，衰变热指裂变产物和中子俘获产物的放射性衰变所产生的热量。在反应堆和乏燃料元件内都产生衰变热，必须给以足够的冷却。

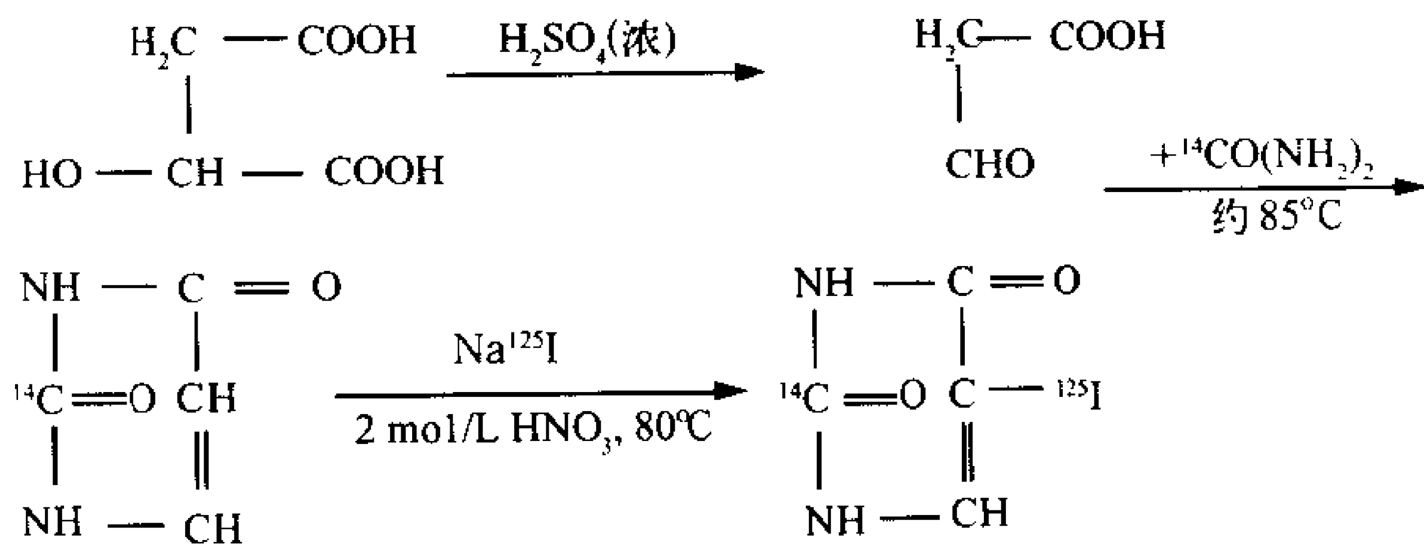
（撰写：陈叔平　审订：连培生）

shuang β shuaibian

双β衰变 double β decay 见β衰变。

shuang biaoji

双标记 double labelling 化合物分子被两种不同核素标记。一般说来，是指用两种不同核素标记在同一化合物中的不同部位上。下面以[2-^{14}C, 5-^{125}I]碘尿嘧啶为例来说明双标记：



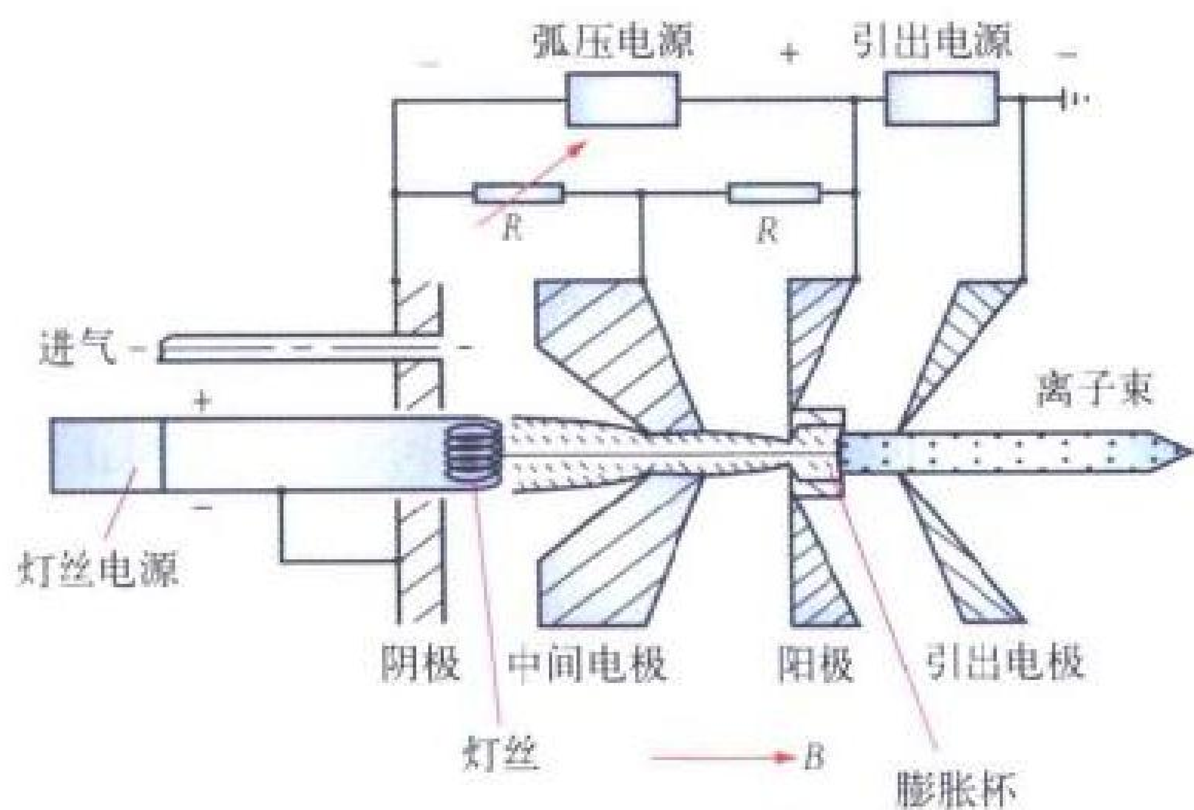
双标记技术在分析化学、医学和生物学中应用较广，尤其是用于某种物质（如药物、食物）在机体内代谢情况的分析；有机化合物分子分解产物的验证；分子中不同基团作用与特性的揭示以及分子在反应中变化的追踪。

（撰写：卢玉楷　审订：吕延晓）

shuangdengliziti liziyuan

双等离子体离子源 duoplasmatron ion source 带有两级放

电(等离子体)的电子碰撞型强流气体离子源。在阴极、中间电极之间较高气压(约4 Pa)较低电压(约10 V)条件下，维持气体放电产生低密度阴极等离子体。它通过中间电极孔道的几何箍缩和磁场箍缩，进入二级放电，在中间电极和阳极之间较低气压(约3 Pa)、较高电压(约80 V)和强磁场(<0.1 T)条件下形成高密度等离子体(约$10^{14}cm^{-3}$)。然后在加速电场作用下从阳极孔直接引出离子束，或者从阳极—膨胀杯引出(见图)。后者有助于束流形成和传输。最大正离子流强达100 mA。



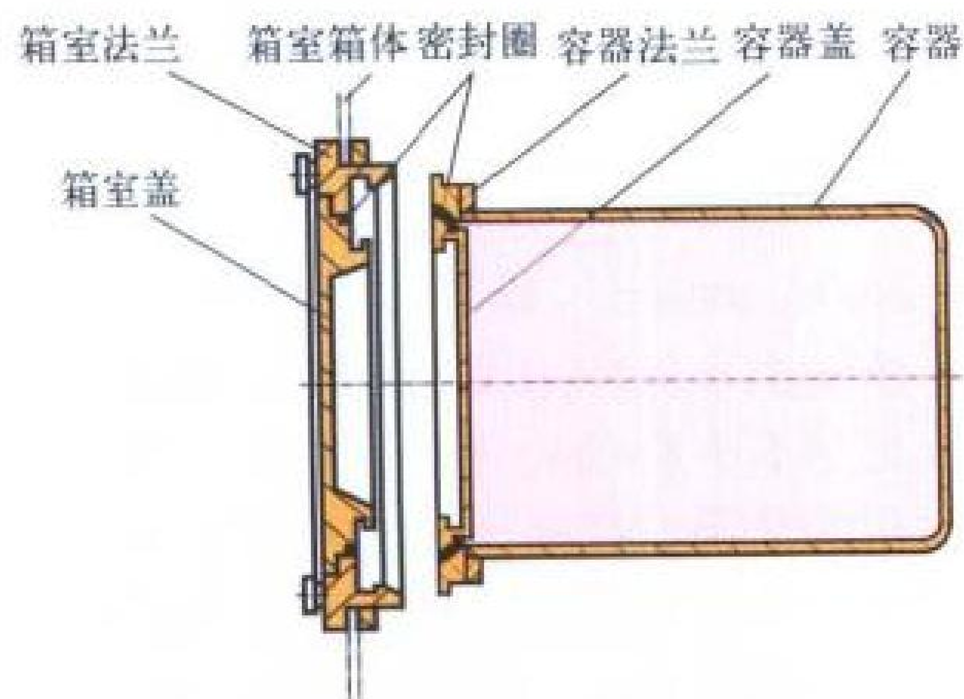
双等离子体离子源原理示意图

利用磁抑制电子或偏轴引出技术，从双等离子体源可引出负离子束。改进磁场和中间电极结构的双等离子体源亦能产生多电荷态重离子，但不适合产生金属离子。该源优点是结构紧凑通用性好，束流强而品质好；缺点是灯丝寿命常受限制。

(撰写：赵渭江　审订：关遐令)

shuanggai mifeng rongqi

双盖密封容器 double-lid sealed container 具有双盖门可以采用双盖密封转运技术进行放射性物质的密封转运的容器(见图)。它适用于仅有内照射危害而无外照射危害的放射性物质的转运。双盖密封容器的双盖门有互相匹配的两个盖、



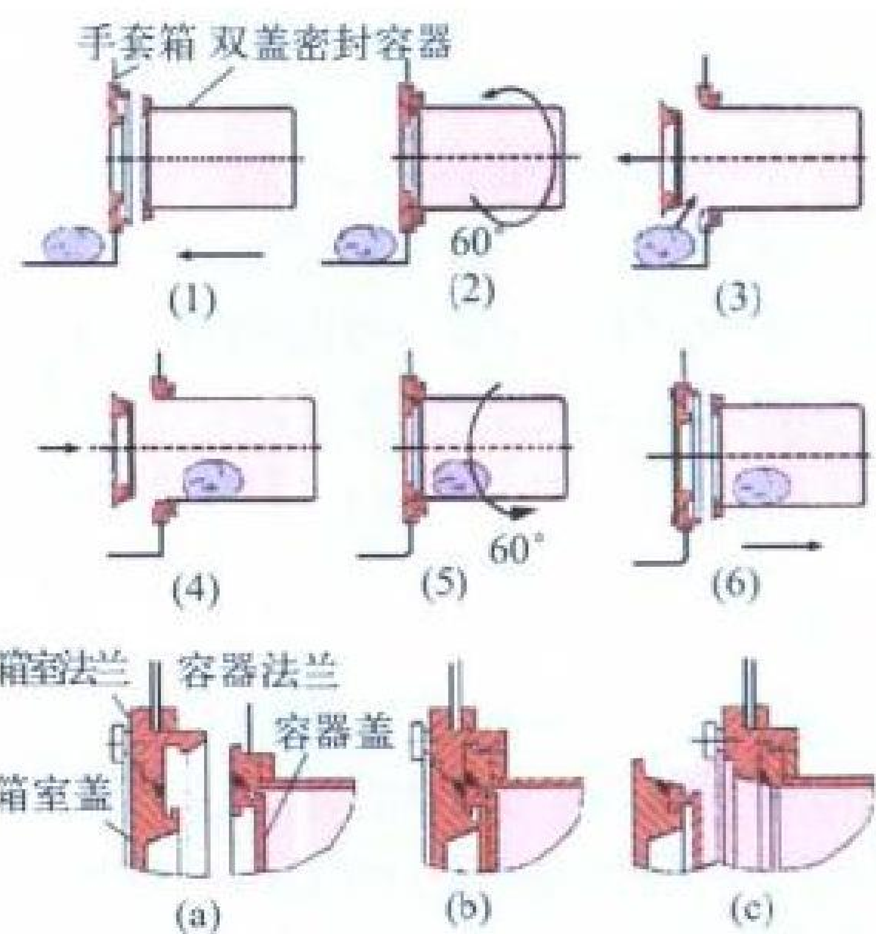
双盖密封容器示意图

两个法兰和两个密封圈。当不转运时，其中一套盖、法兰、密封圈安装在容器上，另一套盖、法兰、密封圈安装在手套箱等箱室上，容器和箱室都处在密封状态。盖、法兰和密封圈都有特殊的结构，密封圈是关键的零件，其断面形状特殊，有多种形式，用特种塑料制造。双盖密封容器有多种式样，广泛应用于核领域的工厂、实验室中。

(撰写：许源振　审订：郑华铃)

shuanggai mifeng zhuanyun jishu

双盖密封转运技术 double-lid sealed transfer technique 使用双盖密封容器将放射性物质从一个封闭体转移到另一个封闭体并保持整个过程的密封性的技术。放射性物质转运的过程中，保持α密封状态而且容器的外表面不被污染的关键技术是双盖门的特殊结构和严格的转运程序，如图所示。图中(1)箱室和容器互相分离，双盖门情况如图中(a)所示；(2)将容



双盖密封转运程序示意图

器与箱室对接后顺时针方向转60°，双盖门情况如图中(b)所示，此时两个法兰互相咬合并密封，两个盖互相咬合并密封同时与两法兰松开；(3)从箱室里打开双盖门，双盖门情况如图中(c)所示，两门的干净侧不暴露于箱室内的气氛中；(4)将被转运物从箱室中移到容器中或从容器里移到箱室中；(5)逆时针方向旋转容器60°，此时容器盖与容器法兰咬合并密封，箱室盖与箱室法兰咬合并密封，同时两盖相互脱开，两法兰也相互脱开；(6)取下容器，双盖门恢复到如图中(a)所示的状态。双盖密封转运技术应用于核领域的工厂、实验室中进行如超铀元素等放性物质的密封转运。

(撰写：许源振　审订：郑华铃)

shuangguannengtuan cuiquji

双官能团萃取剂 bifunctional extractant 分子中含有两个可同时与金属离子发生配位作用官能团的萃取剂。当这两个官能团是P＝O或N－C＝O时，这类萃取剂在中等酸度以下萃取金属离子时仍为中性络合萃取。双官能团萃取剂可以在硝酸介质中萃取不易被萃取的三价锕系元素和镧系元素，已被广泛用于从强酸废液中分离回收锕系元素和镧系元素的研究中，常用的双官能团萃取剂有：CMPO(辛基苯基-N,N-二异丁基氨基甲酰甲氧膦)、CMP(N,N-二乙胺甲酰甲撑膦酸二己酯)和DMDBTDMA(二甲基二丁基十四烷基丙二酰胺)。

(撰写：叶国安　审订：朱永𬭚)

shuang'ouran shijian yuanze

双偶然事件原则 double contingency principle 核临界安全设计的基本原则之一。指与易裂变材料有关的工艺设计应留有足够的安全系数，使得在设计规定为临界安全必要的诸条件中，至少必须同时或相继发生两种独立的、不大可能的改变，才有可能导致核临界事故。在反应堆外操作和处理易裂变材料时，例如在后处理工厂和燃料元件制备工厂，不仅要考虑正常条件下的临界问题，同时还必须考虑非正常条件下的临界问题，工艺生产过程的核安全设计必须考虑工厂条件下的许多变化的因素。因为这些因素会影响单个单元的临界参数或裂变物质的数量。可能的异常情况有：在易裂变物质设备之中或这些设备之间损失了或者引入了慢化材料；在易裂变物质设备附近引进了中子反射材料；由于发生诸如容器

泄漏和损坏事件而改变了易裂变物质的形状；操作条件的改变，例如流量损失，沉淀、过度蒸发，违反质量限制；中子相互作用条件的改变，例如，设备的倒塌或翻转，在运输中易裂变物质的通过等等。为防止意外发生核临界反应，一般都采用双偶然事件安全原则。例如在用批料量限额作临界质量控制时，根据双偶然事件原则确定安全批料量应限制易裂变材料量小于最小临界质量的 1/2，使得意外地投入两批料的情况不会造成临界事故（即有一次超量误操作的安全裕度）。应有足够的技术和管理措施及时发现工艺条件的变化，在两个变化之中的一个变化发生之后，工艺流程的安全应重新估价。（撰写：陈明焌　审订：胡遵素）

shuangsuan xidi

双酸洗涤　double acid scrubbing　采用低浓度酸和高浓度酸在萃取接触器的洗涤段对萃取有机相分段进行洗涤净化的工艺。通常低浓度酸在有机相出口级引入，高浓度酸在洗涤段中部引入。采用双酸洗涤工艺是基于不同杂质在萃取剂和低浓度酸介质或高浓度酸介质分别具有较低的分配的特性，从而达到更好净化产品的目的。

（撰写：胡景炘　审订：朱永赌）

shuangwen huaxue jiaohuanfa

双温化学交换法　dual-temperature chemical exchange method　利用在两种不同温度下进行同位素交换从而实现回流操作的同位素分离方法。在采用同位素化学交换法时，由于回流需消耗大量热能或电功，且不易定量地转化，因此采用第二个交换塔，在高温下进行同位素交换。由于高温下的一级分离系数小于低温下的一级分离系数，故高温交换塔即相当于一个回流装置。双温交换法目前主要用于重水生产，交换体系有 H_2S–H_2O，H_2–H_2O，NH_3–H_2 等，其中除 H_2S–H_2O 体系外均需要添加催化剂以增大同位素交换速度，限制了这些体系的工业应用。目前世界上生产重水绝大部分均采用 H_2S–H_2O 双温交换法，其优点为：交换速度快，不需要催化剂；用天然水供料，原料供应不受限制；生产成本低。惟一缺点为：H_2S 的腐蚀性和毒性大。

（撰写：李以圭　审订：朱永赌）

S

shuichui

水锤　water hammer　又称水击。管系中因局部区域流体流速或压力突然变化而产生压力波沿管系传播的现象。核电厂冷却剂回路中阀门的开启或关闭、泵的启动或停转、管道的堵塞或泄漏、管内蒸汽突然冷凝都可能引起水锤。有时候，水锤可以造成严重后果（如管道破裂）而迫使核电厂停止运行。在核电厂设计中，应对压力波幅度有所限制，压力波传播频率也不能过于接近管系的自振频率，以免发生共振。

（撰写：栾 林　审订：张忠岳）

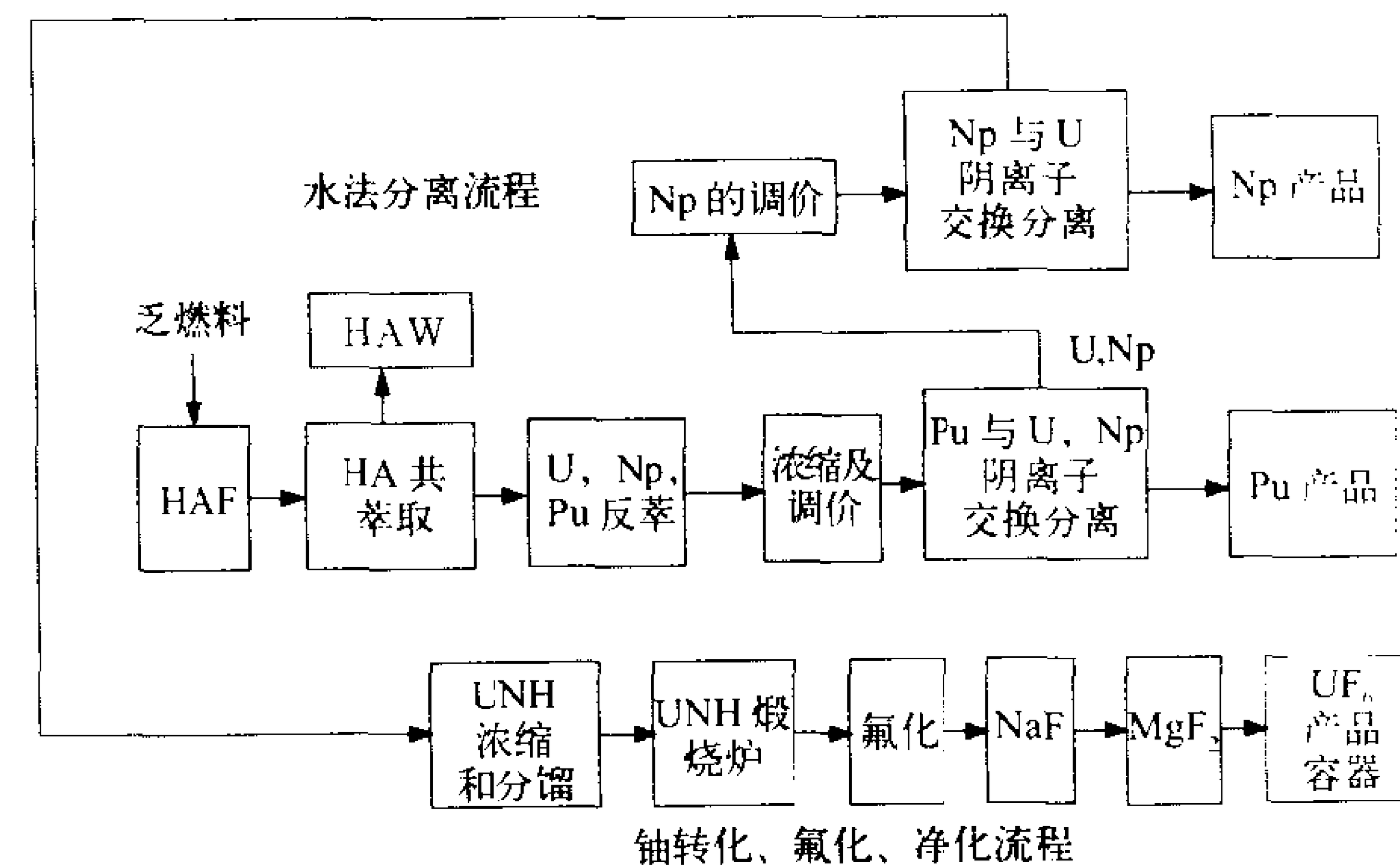
shuifa houchuli

水法后处理　aqueous reprocessing　用沉淀、溶剂萃取、离子交换等手段在水溶液中进行的化学分离方法处理乏燃料的工艺过程。它是核燃料后处理中通用的一类方法。水法后处理通常有三个步骤，即首端处理、化学分离和尾端处理。水法后处理在工业规模使用过的化学分离过程有沉淀法和萃取法两类；而离子交换和硅胶吸附常用作溶剂萃取流程的尾端处理过程，分别用于钚和铀的纯化。典型的沉淀法是磷酸铋沉淀流程，但由于该流程不能回收铀，且不易实现连续操作，后被溶剂萃取法所取代。萃取法则是采用醚、酮、磷酸酯、胺等萃取剂，利用它们对六价铀、四价钚和六价钚与裂变产物在萃取能力上的差异，实现铀、钚与裂变产物以及铀、钚之间的分离。萃取法分离能力和适应性强，易实现连续操作，在水法后处理中得到广泛应用。

（撰写：章泽甫　审订：朱永赌）

shuifu liucheng

水氟流程　aquafluor process　水法与氟化挥发法结合起来处理乏燃料的流程。其首端及铀、钚共去污萃取与普雷克斯流程相同。萃入有机相的铀、钚、镎，同时反萃下来，铀、钚、镎的分离用阴离子交换来完成。不纯的硝酸铀酰溶液经浓缩并在 350℃ 下进入流化床进行脱硝，得到粉末状的 UO_3，然后在 450～500℃ 下，用 F_2 氟化成 UF_6，这时大部分裂变产物为固态氟化物，留在反应器中。UF_6 通过氟化物（NaF、MgF_2）吸附—解吸净化，再经过蒸馏精制。得到的 UF_6 产品，可以直接送至分离厂进行同位素分离。由于铀线净化采用了干法处理（氟化挥发法），使整个流程得到了简化。水氟流程的突出优点是其最终产物是 UF_6，适于作为分离工厂的原料（见图）。



水氟流程简图

（撰写：叶玉星　审订：朱永濬）

shuihuare

水化热　heat of hydration　物质与水化合时所放出的热。此热效应往往不单纯由水化作用发生，所以有时也用其他名称。例如水泥的水化热有人称为硬化热，其中包括水化、水解和结晶一系列作用的结果。在水泥固化放射性废液，特别是大体积浇注处置放射性废液时需要考虑水化热的作用。因为水泥介质导热性差，热容量小，固化过程中产生的热量会积聚起来，使其内部温度不断升高，如果温度大于 100℃，则会导致部分废液汽化，造成环境污染，同时也使固化体内部产生气孔，降低机械强度，增加核素浸出率，导致固化体性能下降。因此，在水泥固化时，应在固化配方和固化工艺方面采取措施，以控制水化热的影响在允许的范围内。

（撰写：范显华　审订：曾继述）

shuihuibi

水灰比　water cement ratio　水泥固化时，掺入的水与水泥的质量比。水灰比是放射性废液水泥固化配方最重要的参数之一，它影响水泥与各种物料的混合灰浆和固化产品的特性。在研究水泥固化配方时，最佳水灰比及其允许变化

数值范围应由试验确定。确定合适水灰比时首先要考虑流动度，因为具有合适流动性的水泥混合物才能使固化工艺得以正常进行和生产出均匀的固化体。波特兰水泥净浆的水灰比在 0.26～0.32 之间，固化工艺使用的水灰比一般高于水泥净浆。固化以 $NaNO_3$ 为主要成分的蒸残液使用的水灰比高出净浆的 0.3～0.6 倍；固化沉淀泥渣、助滤剂、滤渣及离子交换树脂等具有亲水性的废物，使用的水灰比高出净浆的 1～1.5 倍。一般来说，随着水灰比增高，混合物灰浆的流动度增大，泌水增多；水泥固化体的孔隙度、孔径增大，核素浸出率增加，抗压强度降低。为兼顾固化体所有性能指标，只靠增加水灰比来提高流动度、延长凝固时间、增高固化体包容量是不适当的。可通过加入流动促进剂、缓凝剂来改善水泥混合灰浆的流动性；通过添加蛭石、硅藻土或其他吸收剂，水灰比可达到 0.7～1.1。

（撰写：曾继述　审订：范显华）

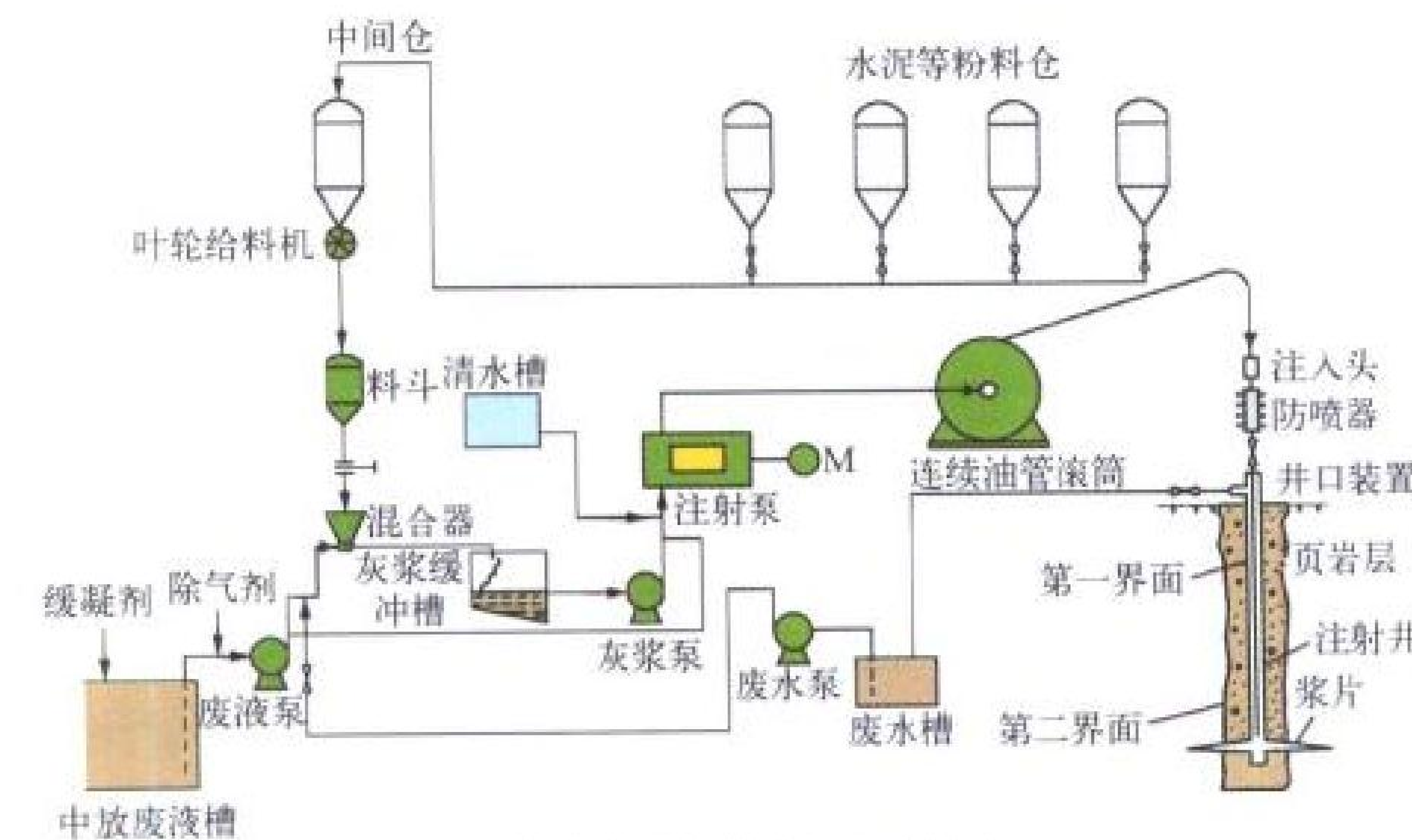
shuili dengxiao zhijing

水力等效直径　hydraulic equivalent diameter　又称为水力直径、等效直径、水力当量直径或当量直径。通道的四倍流通面积 f 与湿润周长 p 之比。对于非圆形通道，按此概念算出它的值，代入圆管流动阻力计算公式，就可得到流动阻力，但只有通道中流速分布与圆管中的分布接近时，采用它才比较有效，否则需作进一步的修正。

（撰写：厉日竹　审订：彭木彰）

shuili yalie

水力压裂　hydrofracturing　又称水压致裂。用高压水在页岩内造成裂缝以处置放射性废液的过程（见图）。水力压裂是在深达数百米无地下水活动的页岩层中，往高压水形成的裂缝内压入低、中水平放射性废液与水泥混合而成的浆液，经固结成水泥浆片，使放射性核素被包容固定在地下页岩的预定区域内，以实现与生物圈的隔离，达到安全处置的目的。水力压裂工艺过程包括放射性废液提取、输送、调料，水泥和固体添加剂的准备及混配，页岩层切割、致裂，注浆及关井候凝和排放回流水等步骤。每个切口一般可注浆 4 次，完成后开新的切口进行下一轮的注浆。为保证安全注浆，设置监测井、岩石覆盖井、地面抬升监测点和水文观察井，分别监测浆片扩展方向，地壳受应力变化情况，注浆前后地面抬升



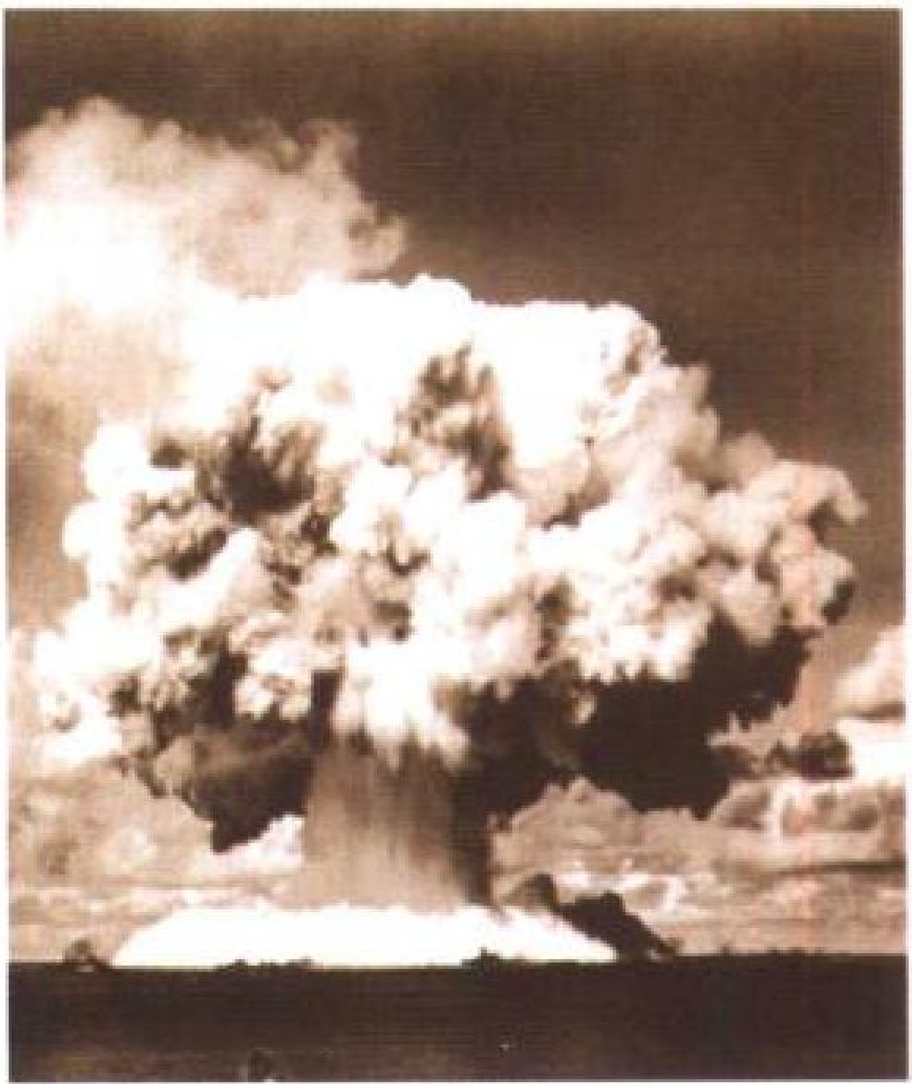
水力压裂流程示意图

情况和地下水中放射性核素活度浓度变化情况。也可通过地应力监测系统和电导率成像技术分别测定地应力的变化和浆片展布情况。此外还应监测水力压裂设施和周围环境的辐射状况。

（撰写：王显德　审订：孙东辉）

shuimian ji shuixia hebaozha

水面及水下核爆炸　shallow and underwater nuclear explosion　水面或水平面下一定深度的核爆炸的外观景象及毁伤效应。水下爆炸根据爆炸深度又可分为浅层或水面核爆炸和深层水下核爆炸。水下爆炸的火球一部分在水面以上，一部分在水面以下。水下火球是一高温高压气泡。气泡急剧膨胀在水中形成冲击波。当它传播到水面，使爆心投影点附近表层的水高速冲向上空形成水幕。当水下气泡上升到水面进入大气时，气泡因急剧膨胀而冷却，使大量水蒸气凝结成水珠，挡住了光辐射，因而看不到火球的发光。气泡膨胀和水蒸气凝结使得泡中压力下降，把大量水抽吸到空中形成巨大的空心水柱，同时放射性物质从水柱的中心排出，在水柱顶部形成菜花状烟云（见图）。烟云稳定时高度与爆炸威力和深度有关。例如威力为 20 kt TNT 浅层爆炸，烟云高约 3 km。随后，水柱回落在水面激起巨浪，同时在水柱外沿底部形成由水珠组成的巨大的环状云雾，向外迅速运动并翻滚上升，这就是所谓基浪。几分钟后基浪脱离水面缓慢上升，与烟云相混，随风飘移，这时烟云中会出现降水过程，造成下风方向水（地）面的放射性沾染。水下爆炸的瞬时毁伤因素有与空爆相似的光辐射、冲击波与早期核辐射，但要弱一些，更重要的毁伤因素是水中冲击波和波浪。


浅层水下爆炸形成的菜花状烟云和基浪
图出处：国防科学技术工业委员会科学技术部．中国军事百科全书．核武器分册．北京：军事科学出版社，1990.107

（撰写：乔登江　审订：吕敏）

shuimian ji shuixia hebaozha huishang xiaoying

水面及水下核爆炸毁伤效应　damaging and injuring effects of shallow and underwater nuclear burst　水面或浅层水下核爆炸的多种毁伤因素及其毁伤效果。水面及浅层水下核爆炸的毁伤因素，除有空气冲击波、光辐射、早期核辐射及核电磁脉冲等外，主要是水中冲击波和巨浪。由于冲击波在水中传播比在空气中传播衰减小，因此，水中冲击波超压要比相同距离上同样威力的核爆炸空气中冲击波超压大得多；水底浅时，水中冲击波还会因水底反射而得到加强，同时在水底生成弹坑。水中冲击波的持续时间却比空气冲击波的持续时间短。水中冲击波作用到船体时，能使水线以下的船体变形、壳板破裂，还会使船体在水平及竖直方向产生突然的运动，造成船内设备及部件受冲击而毁坏。水下核爆炸时产生的波浪，即表面波，破坏力极大。对水面舰船及港口设施具有很大的破坏作用。

（撰写：乔登江　审订：吕敏）

shuimian jianting hedongli zhuangzhi

水面舰艇核动力装置　surface craft nuclear power plant　用于水面上军用舰艇的核动力装置。核水面舰艇有核动力航空母舰、核动力巡洋舰、核动力驱逐舰等。世界上核水面舰艇动力装置都采用压水堆，有分散布置、紧凑布置和一体化布

置等。水面舰艇核动力装置的工作原理与商船核动力装置相同，其主要差别是二回路热力系统要比商船核动力装置简单，以满足体积小、重量轻、抗冲击等技术、战术要求。

（撰写：刘聚奎　审订：孙玉发）

shuini guhua

水泥固化 cement solidification；cementation 把放射性废物掺合在水泥基料中形成固化体的过程。按一定配比将水泥与放射性废液（如：蒸残液、沉淀泥浆）或其他废物（如：废树脂、焚烧灰）一起充分混合，废液中的水分供水合反应、固体和盐分主要通过物理包容或可能的化学结合最后固定在固化体中。水泥固化的目的是把具流动性、弥散性的废物转变成物理性能稳定、不易弥散的固态废物体，以利于装卸、运输、贮存和处置。水泥固化已有几十年发展历史，它是最早开发，而且仍然在低、中放废物整备中广泛使用的技术。与其他固化技术（沥青固化和聚合物固化）比较，水泥固化具有下列优点：工艺设备简单，易操作；建造投资和运行费用较低；固化体机械强度好，有良好的自屏蔽性能，热和辐射稳定性好，无燃烧和爆炸危险。其主要缺点是：放射性核素特别是碱金属核素的浸出率高；固化体的体积大于被固化的废物体积，即不是减容，而是增容。目前，水泥固化应用范围比较广泛，核电厂、后处理厂和前处理厂都有应用。为改进水泥固化体性能和提高废物包容量，水泥固化配方和工艺在不断发展，许多改进的水泥固化法已经问世。

（撰写：曾继述　审订：范显华）

shuishen

水渗 water logging 冷却剂通过包壳裂缝渗入燃料元件内部的现象。轻微水渗的元件，仍有可能继续运行一定时间。水渗严重的元件，可导致包壳氢脆和芯块与冷却剂之间的严重化学作用，造成元件破损。按照比较严格的安全要求，一般不允许水渗燃料元件继续工作。

（撰写：张忠岳　审订：黄玉才）

shuiti jinghua

水体净化 purification of water body 放射性核素进入地面水体后，经物理（混合、稀释、平流与扩散和沉降等）、化学（氧化还原、吸附与凝聚以及化合与分解等）、生化（微生物氧化分解有机物等）等方面的作用而使其沉积于水体的底部形成淤泥，而水中的放射性浓度逐渐降低、从而水质得到净化的过程。对于放射性物质来说，这种净化只是相间转移，不是真正降解和消失。而且还会为底栖生物构成放射性照射；在底泥泛滥，发生再悬浮时又是二次污染源。包括水中的悬浮物、溶解物、底泥和水生生物等在内的一个完整生态系统的水的积聚体称为水体。通常指地面水体（如，江、河、湖泊、海洋、溪、沼泽、水库和池塘等），广义上还包括地下水体。按类型可划分为海洋水体和陆地水体。按水的流动性分为流水水体（如河流）和静水水体（如沼泽、湖泊）。水体净化包括水体物理、化学净化，水体生物净化和水体自净（由于水体自身的物理、化学和生物等作用达到净化效果）。影响水体净化的因素有：水体的地形和水文条件，水温、水流方向，风向、风力，稀释和扩散能力，水中微生物群落的结构、种类和数量、生长繁殖能力及其对污染物的氧化分解能力，所排放射性核素的性质、浓度、排放方式以及排放口的位置等。

（撰写：张永兴　审订：陈竹舟）

shuixi youhanliang celiang

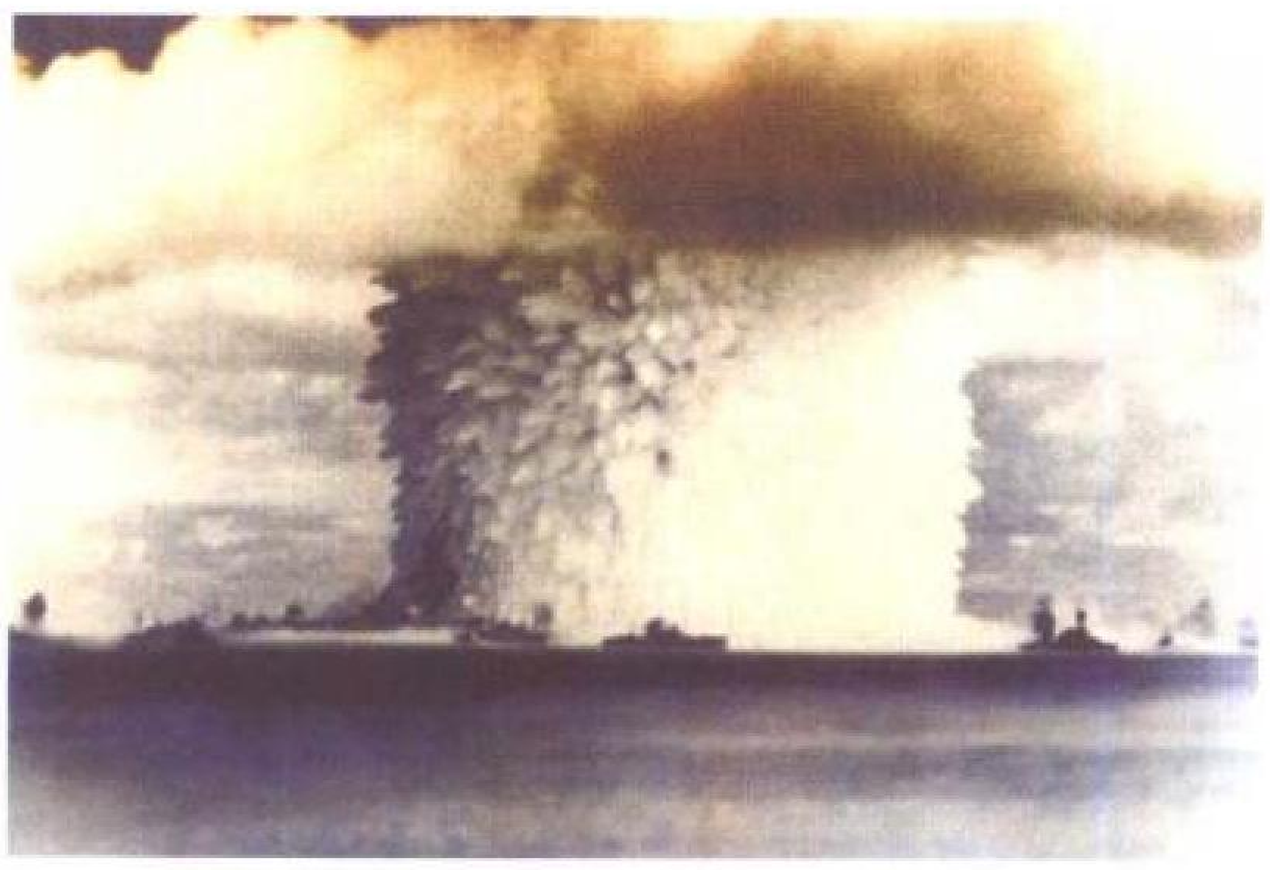
水系铀含量测量 drainage uranometric survey 对水系（地表和地下河流、湖泊、沼泽、溪沟等）沉积物系统采样，分析其中的铀含量，研究其分布特征，通过发现铀分散流，追索异常源进行找矿的方法。矿体及其分散晕中的铀从剥蚀区向沉积区运移时，在冲积层和洪积层中形成机械分散流和盐分散流。根据分散流中吸附形成的铀和伴生元素异常，溯源找矿。该方法是小比例尺成矿预测的快速有效方法。应用该方法的实际成果如图所示。

某矿区铀和铅的分散晕及分散流
1—构造断裂；2—铀矿床；3—铀矿化点；4—异常点；5—分散流（单位为背景值倍数）；6—铀＞3；7—铅＞3；8—铀与铅晕发育地区；9—远景地区

（撰写：蒋永一　审订：李家俊）

shuixia ji shuimian heshiyan

水下及水面核试验 underwater and surface nuclear test 把核装置放在水下或水面进行的核试验。水下、水面核试验的目的主要是研究水中核爆炸产生的效应，特别是对海军舰艇造成的破坏。美国、英国和前苏联都进行过这类核试验。参见水面及水下核爆炸。



美国1946年7月进行的Baker水面核试验

图出处：http://www.enviroweb.org/issues/nuketesting/hew/usa/tests/crossroad

（撰写：吕敏　审订：乔登江）

shunfa liebian γ fushe

瞬发裂变γ辐射 prompt γ radiation from fission 裂变碎片在经历β衰变前发射的γ射线。就目前所知，碎片的最短的β衰变半衰期约为0.1 ms，因此可认为裂变后0.1 ms内产生的γ射线都可称为瞬发γ辐射，其中有一半以上的γ射线是在裂变后10^{-11}s内出现的。瞬发γ射线能谱可近似写为指数形式$N(E_\gamma)=A\exp(-CE_\gamma)$，式中常数$A$和C与核素种类和γ射线能量区间有关。大体上说来，每次裂变大约发射8个光子，平均能量为1MeV。发射瞬发中子数多的碎片，发射的γ光子数和释放的γ射线总能量也多。当碎片的γ跃迁能量为几十千电子伏至上百千电子伏时，可以发射内转换电子和相应的KX射线。

（撰写：韩洪银　审订：张焕乔）

shunfa zhongzi

瞬发中子 prompt neutron 见裂变中子。

si de tiqu

锶的提取 extraction of strontium 从后处理高放废液中提取可称量的^{90}Sr的过程。每吨燃耗为33 000 MW · d/t的低加浓铀乏燃料含裂变产物元素锶880 g，以半衰期28.1 a的^{90}Sr和稳定的^{88}Sr为主。从普雷克斯流程高放废液中提取锶的方法有：沉淀法、溶剂萃取法和离子交换法。溶剂萃取法具有良好的选择性、较高的产品收率和净化效果，与沉淀法和离子交换法相比，过程简单，操作方便，易于实现连续生产。常用的萃取剂有HDEHP, DCH18C6, TiBOPDA等，广泛采用的是HDEHP–TBP的煤油溶液，其工艺过程如下：(1)加入络合剂，调节pH至4～5，共萃稀土和锶；(2)洗涤；(3)用硝酸分别反萃锶和稀土。提取出的锶粗产品再用萃取或离子交换法精制。（撰写：叶国安 审订：朱永𬜬）

4π β γ fanfuhefa

4π β–γ 反符合法 4π β–γ anticoincidence method 是一种用反符合技术测量放射性活度的方法。用4π β正比计数管记录放射性核素衰变放出的β粒子计数率n_β，用高纯锗探测器记录级联衰变发射的γ射线计数率n_γ，用反符合技术得到反符合计数率n_A。对一个具有复杂衰变纲图的核素，其放射性衰变率n_0，可用下式描述

$$n_0 = \frac{n_\beta}{\sum\limits_{k=1}(q_{k0}\varphi_{k0}) + p_0\varepsilon_0}$$

式中 p_0是直接跃迁到基态发射β_0的分支比；ε_0是对β_0的探测效率；q_{k0}是第k个激发态到基态跃迁占总衰变的分支比；φ_{k0}是从第k个激发态到基态的表观探测效率。

$$\varphi_{k0} = 1 - \frac{n_{Ak0}}{n_{\gamma k0}}$$

式中 $n_{\gamma k0}$，n_{Ak0}分别对应于第k个激发态到基态的γ峰及反符合峰的峰面积计数率。因此，$(1-\frac{n_{Ak0}}{n_{\gamma k0}})$是实验中直接得到的β–γ衰变的探测效率（在此之前要做死时间、内转换电子及4π β计数器对γ灵敏度等项修正。）这种方法用于复杂衰变纲图核素活度的测量，避免了一般4π β–γ符合方法需要进行效率外推的繁琐的过程。但这种方法依赖于被测核素衰变参数的准确度，所以它的使用也存在一定的局限性。

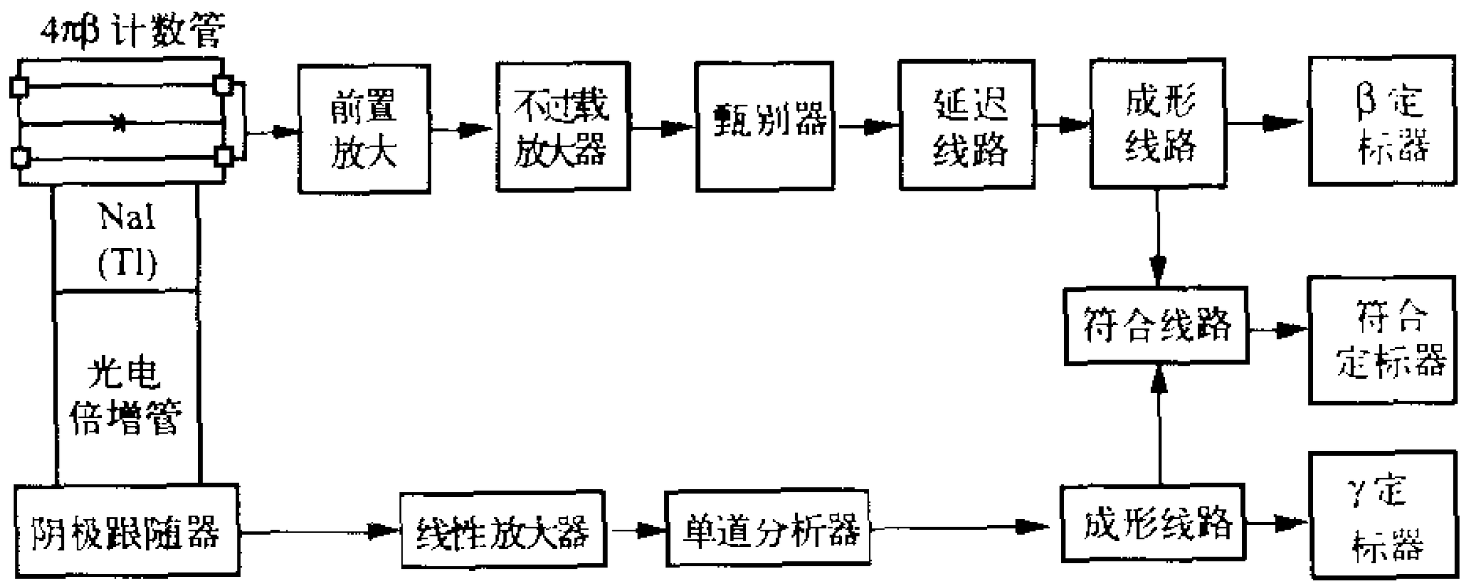
（撰写：容超凡 审订：丁声耀）

4π β γ fuhefa

4π β–γ 符合法 4π β–γ coincidence method 是一种以符合方法为原理，能对具有级联衰变的β(γ)核素进行放射性活度绝对测量的方法。对一具有活度为A的β(γ)核素，若β探测效率为ε_β，γ探测效率为ε_γ，则一次衰变中β，γ探测器同时探测到β和γ射线而给出符合计数的效率为$\varepsilon_\beta \cdot \varepsilon_\gamma$，于是有

$$n_\beta = A\varepsilon_\beta$$
$$n_\gamma = A\varepsilon_\gamma$$
$$n_c = A\varepsilon_\beta\varepsilon_\gamma$$
$$A = n_\beta n_\gamma / n_c$$

4π β–γ符合测量中的β探测器一般用4π流气式正比计数器，也可用4π液体闪烁计数器。γ探测器通常用NaI(Tl)闪烁计数器。如图所示为β探测器为正比计数器(pc)的4π(pc)β–γ符合测量系统框图。在4π β–γ符合测量中，还需对以上原理公式进行死时间、偶然符合、内转换电子、β探测器对γ射线灵敏等一系列校正。根据方法的不同，4π β–γ符合测量又分为以核参数为基础的参数法和以外推技术为基础的效率外推法。用β–γ符合方法绝对测量放射性活度最早出现于1940年，经过不断的改进和提高，一直是放射性活度测量准



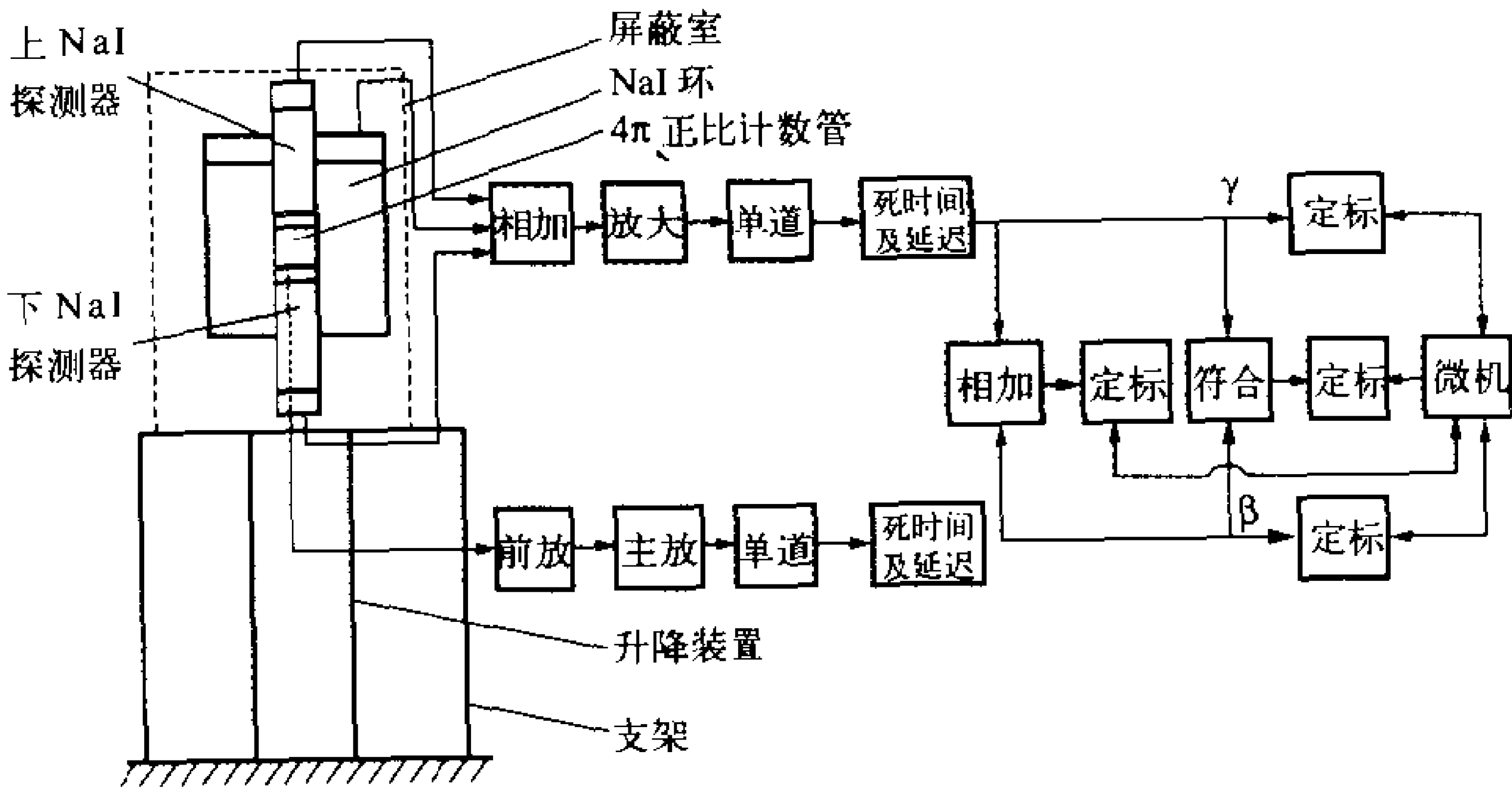
4πβ–γ符合系统框图

确度最高的方法之一。当前，对^{60}Co放射性活度的测量，总不确定度已达到小于0.1%的水平。

（撰写：姚历农 审订：丁声耀）

4π β 4π γ fuhefa

4πβ–4πγ 符合法 4π β–4πγ coincidence method 测量放射性活度的一种方法。即用流气式4π β正比计数管测量β射线，用4π型的NaI(Tl)探测器测量γ射线，然后各自输出的信号进行符合，以确定放射性核素的活度。这种方法与4π β–γ符合原理是一样的，只是一般4π β–γ符合中的γ射线探测器的探测效率只有10%左右，甚至更低。对短寿命核素或活度较低的放射源，为了缩短测量时间，故要提高γ射线探测器的效率。目前主要有用大的井型NaI(Tl)晶体，或由环形NaI(Tl)和上下两个NaI(Tl)晶体作堵头构成4π结构的NaI(Tl)探测器，使γ射线的探测效率接近100%。(见图)，该装置所用的是相加法，也是符合法的一种。



4πβ–4πγ符合法测量装置框图

（撰写：容超凡 审订：丁声耀）

4π e X fuhefa

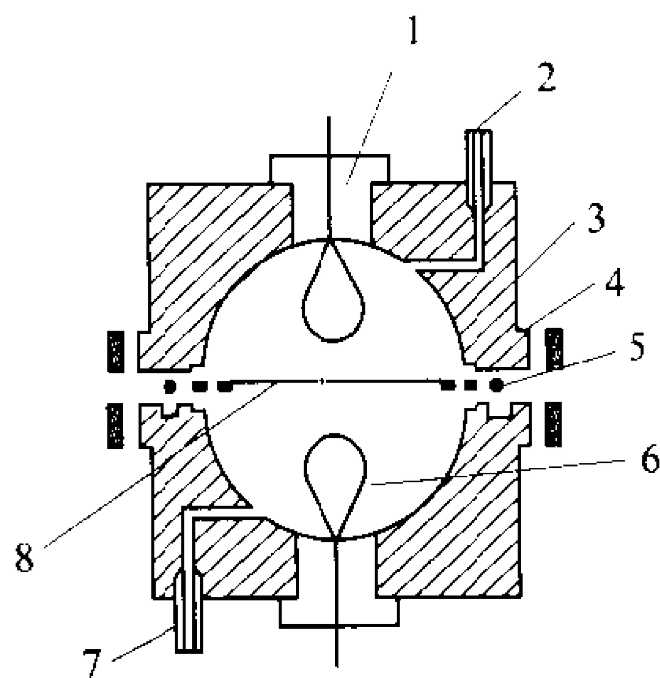
4π e–X 符合法 4π e–X coincidence method 有些放射性核素β衰变时不是从核内发射β粒子，而是通过内转换从原子内层电子轨道上发射电子。当外层电子填充这个空位时发射X射线，通过记录这些电子和X射线产生的脉冲进行符合，就是所谓的4πe–X符合。测量内转换电子用4π正比计数器，

因其能量比较低，所以采用流气式，而且极间距离比较小。同时，因 X 射线能量比较低，要求 4π 计数管上下壁很薄，一般用导电塑料薄膜做成，其 X 射线探测器要采用带铍窗的薄 NaI (Tl) 晶体，厚度只有几毫米。它适用范围较窄，只适用于内转换电子核素，如 ^{51}Cr, ^{55}Fe 等。同样，要把样品做成薄膜源，以达到 4π 立体角，提高 4πe 探测器的效率。其探测活度范围最好在 $10^2\sim10^4$ Bq 之间。

（撰写：容超凡 审订：丁声耀）

4π liuqishi zhengbi jishuguan

4π 流气式正比计数管 4π gas flow proportional counter 一种对放射性测量样品具有4π几何张角，工作气体可内外流动的正比管。其结构通常由两个对称的半球形、半方盒形或半圆柱形正比管，通过 O 圈密封组合而成（见图）。上下半体之间有一放置测量样品且可进出拉动的金属隔板，使置于其上的 VYNS 薄膜放射源在管内具有 4π 几何张角。甲烷或甲烷与氩混合的工作气体，在略大于管外大气压的压力下，由进气孔流入，再从出气孔流出。正比管的阴极材料一般为铜或不锈钢。阳极为直径约 30 μm 的不锈钢丝或镀金钨丝。4π 流气式正比管主要用于 α, β 放射性核素活度的绝对测量。测量活度的范围大致为 $10^2\sim10^4$ Bq。测量值的总不确定度，对 α 核素小于 1%，对 β 核素小于 3%。



4π 计数管示意图

1—绝缘柱；2—出气口；3—金属外壳；4—承托源的铝环；5—密封垫圈；6—梨状阳极丝；7—进气口；8—有机薄膜

（撰写：姚历农 审订：彭华寿）

4π Xγ fuhefa

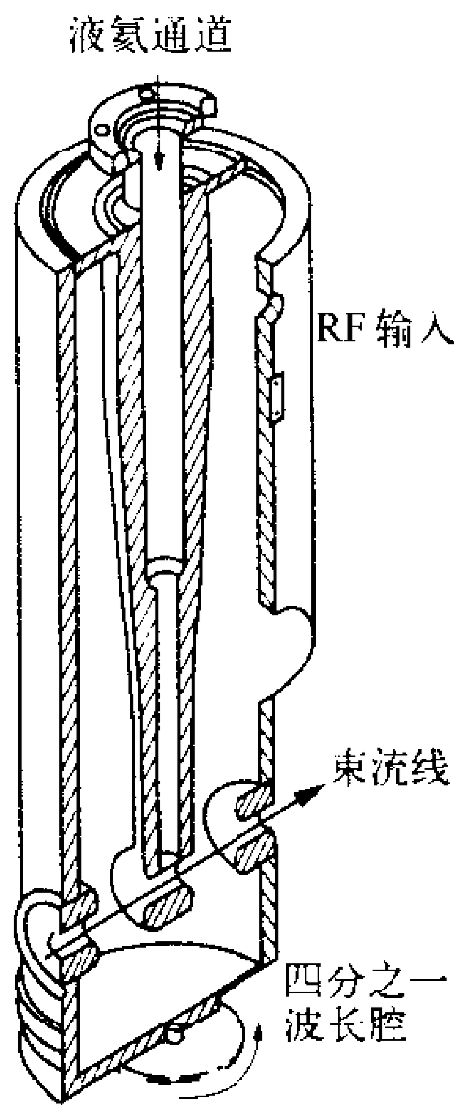
4π X–γ 符合法 4π X–γ coincidence method 有些放射性核素在发生 β 衰变时，并不发射 β 射线，而是俘获外层轨道上的一个电子。当其他外层电子来填补这个空位时，就会发出特征 X 射线。如果原子核处于激发态，它退激发时放出 γ 射线。就可以通过记录 X 射线和 γ 射线，进行符合测量。这就是 4πX–γ 符合法的基本原理。4π 计数器，一般采用正比计数管，为了提高探测 X 射线的效率，要采用高气压正比计数器，其工作气体压力可达 2 MPa，工作气体多采用 90 % 氩气加 10 % 甲烷的混合气体，由于气体压力提高，所以 4π 计数管对 γ 射线的灵敏度也提高，因此必须对 4π 计数管的 γ 射线灵敏度和探测到的内转换电子进行校正。高气压正比计数管还要设计得气密性能好和易于更换放射源。γ 射线探测器多采用 NaI (Tl) 探测器，也可以用高纯锗探测器，但高纯锗探测器价格较贵，故用得不多。这种探测方法，主要适用于电子俘获核素，如 ^{51}Cr, ^{57}Co, ^{75}Se 和 ^{88}Y 等核素的活度测量，其活度范围在 $10^2\sim10^4$ Bq 之间最为合适。为了提高 X 射线的探测效率，被测样品要用 VYNS 膜等做成薄膜源。

（撰写：容超凡 审订：丁声耀）

S

sifenzhiyi bochangqiang

四分之一波长腔 quarter wave resonator (QWR) 离子直线加速腔。它的剖视结构如图所示。从图看出它几乎与平面螺线腔工作原理相同，只是把卷曲的螺线"拉直"了，四分之一波长腔的名称也由此而得。其实平面螺线就是电容加载的四分之一波长谐振线，但螺线拉直后直杆易于做得很粗，因而制造既方便，机械强度又大大提高。而且直杆变粗后，杆内还易于做成空的，便利了液氦的使用，使它更方便地做成超导腔。但由于直杆方向上的长度较长，因此圆柱腔改成沿长杆方向了，而漂移管则都安装在靠近圆柱腔一端的位置上。四分之一波长腔是常用的超导加速腔之一，出现在稍晚于平面螺线腔的 80 年代初期，可看成是一种改进。有关特性参见平面螺线腔。



离子直线加速腔示意图

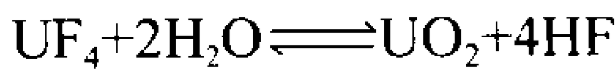
（撰写：方家训 审订：关遐令）

sifuhuayou

四氟化铀 uranium tetrafluoride 见绿盐。

sifuhuayou de shuijie

四氟化铀的水解 hydrolysis of uranium tetrafluoride UF_4 与水蒸气作用生成 UO_2 和 HF，是 UO_2 氢氟化的逆反应。UF_4 是一种稳定的化合物，但当温度高于 100℃时，水蒸气能与 UF_4 相互作用，发生水解反应：



$$UF_4+2H_2O \rightleftharpoons UO_2+4HF$$

生成的 UO_2 还可进一步被水蒸气氧化，氧化生成的 UO_3 继续与 HF 作用生成 UO_2F_2。如果水蒸气中有氧存在，UF_4 在水解的同时也生成 UO_2F_2。UF_4 的水解反应可在化学分析中用于测定氟。在湿法生产 UF_4 的脱水过程中要采取措施避免发生水解，以减少 UF_4 中 UO_2F_2 的含量。在工业生产中应用 UF_4 的水解特性，将用 H_2 或 NH_3 还原 UF_6 制得的 UF_4 立即在高温下与水蒸气反应生成 UO_2，用于制备烧结芯块。

（撰写：隋富志 审订：朱永𬭎）

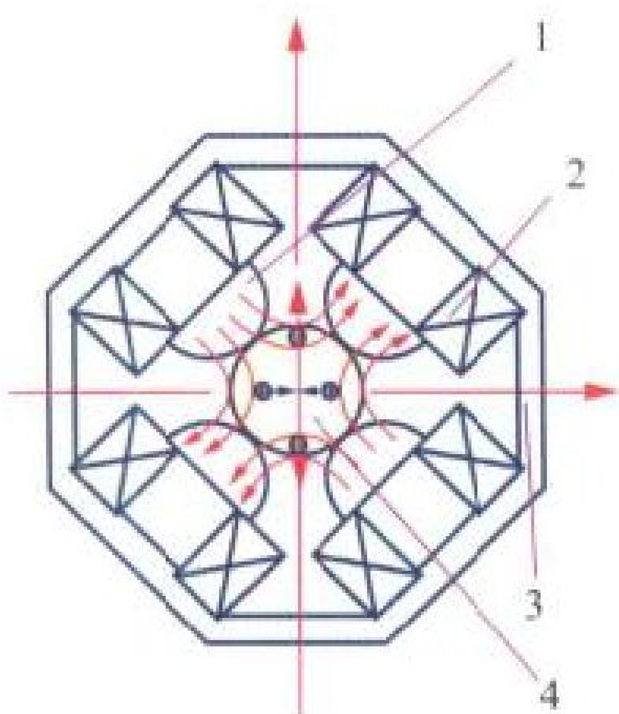
sifuhuayou fuhua zhibei liufuhuayou

四氟化铀氟化制备六氟化铀 production of uranium hexafluoride by fluorination of uranium tetrafluoride 生产 UF_6 的主要方法。目前工业上普遍采用 F_2 在高温下氟化 UF_4 来生产 UF_6。因为这种方法消耗的 F_2 最少，而 F_2 是铀生产工艺中最昂贵的试剂之一。采用的氟化设备有固定床反应器，卧式搅拌炉、火焰反应器、流化床反应器和立式氟化炉等。生产 UF_6 工艺包括电解制氟、UF_4 氟化、UF_6 冷凝和工艺尾气的净化处理等。氟化过程因温度的不同可分为两类：一类是反应温度低于 400 ℃，会生成中间氟化物，生产效率低，但对设备材料的要求也较低；另一类反应温度高于 400 ℃（如火焰反应器内温度可达 1000 ℃以上），可以不生成中间氟化物，反应迅速、完全，生产效率高，但生产设备的磨损和腐蚀严重，要用蒙乃尔合金制造。

（撰写：隋富志 审订：朱永𬭎）

siji toujing

四极透镜 quadrupole lens 加速器束流传输系统中一种利用四极电磁场使带电粒子聚焦的设备。它分为磁四极透镜和电四极透镜，其中磁四极透镜应用较为广泛。如图所示，四极透镜的四极对称排列，极面呈双曲线形，以求在透镜有效孔径内，场分布有较好的线性。当带电粒子通过四极透镜时，沿轴线运动的粒子，因所处磁（电）场为零，不受横向作用力。而那些偏离轴线运动的粒子，由于所处磁（电）场不为零，将受到横向磁（电）场力的作用，而且所受力的大小与横向偏离轴线的距离成正比。四极透镜的这种场分布，使带电粒子束在一个方向上受聚焦力，在另一个方向上则受散焦力。为了在两个横向平面上都获得好的聚束效果，在加速器的束流传输系统中常常采用四极透镜组，磁四极透镜的特点是聚焦能力强、磁极处于真空束流管道之外，但其结构复杂、占用空间大。电四极透镜的特点是结构简单、占用空间小，但聚焦能力弱，并且电极结构处于真空束流管道之内，存在高压击穿的危险。



磁四极透镜示意图
1—磁极；2—线圈；
3—磁轭；4—束流管道

（撰写：杨丙凡 审订：关遐令）

siyinzi gongshi

四因子公式 four factor formula 在分析热中子反应堆内中子平衡时，无限介质的中子增殖因子 k_∞ 可以分解为四个因子的乘积，称为四因子公式：$k_\infty = \varepsilon\eta fp$。式中：(1) 快中子裂变因子 ε，定义为所有能量的中子产生的裂变中子数与仅由热中子产生的裂变中子数之比；(2) 有效裂变中子数 η，定义为燃料每吸收一个热中子所产生的平均裂变中子数；(3) 热中子利用系数 f，表示在所有物质（包括燃料，慢化剂，冷却剂和结构材料）吸收的热中子总数中被燃料吸收的份额；(4) 逃脱共振俘获概率 p，在慢化过程中逃脱共振俘获的中子份额。

（撰写：奚树人 审订：单文志 许汉铭）

songdongjian jiance xitong

松动件监测系统 loose parts monitoring system 检测和诊断反应堆内部金属零件松动和脱落的系统。设置该系统是为了尽早探测出反应堆冷却剂系统中的松脱零件，以避免或减轻主回路系统部件发生与安全有关的损坏或故障。该装置的基本原理是，当堆内金属零件发生松动或脱落时，由于堆内冷却剂的流动，该零件会对压力容器（或蒸汽发生器）内壁产生撞击。在容器外壁安装特制的传感器及时检测到撞击信号并传输至前置放大器，再进入计算机采样分析。使用专用程序来鉴别真伪信号以及判断松动件的跌落方位和质量，并向主控制室报警。

（撰写：姚伟达 审订：张维忠）

sulian weili zuida de rehe zhuangzhi

苏联威力最大的热核装置 Soviet largest yield thermonuclear device 世界上已进行的核试验中爆炸威力最大的热核装置（见图）。该核装置于1961年10月30日在苏联新地岛试验场上空约3660 m高空进行大气层爆炸试验。试验结果爆炸威力

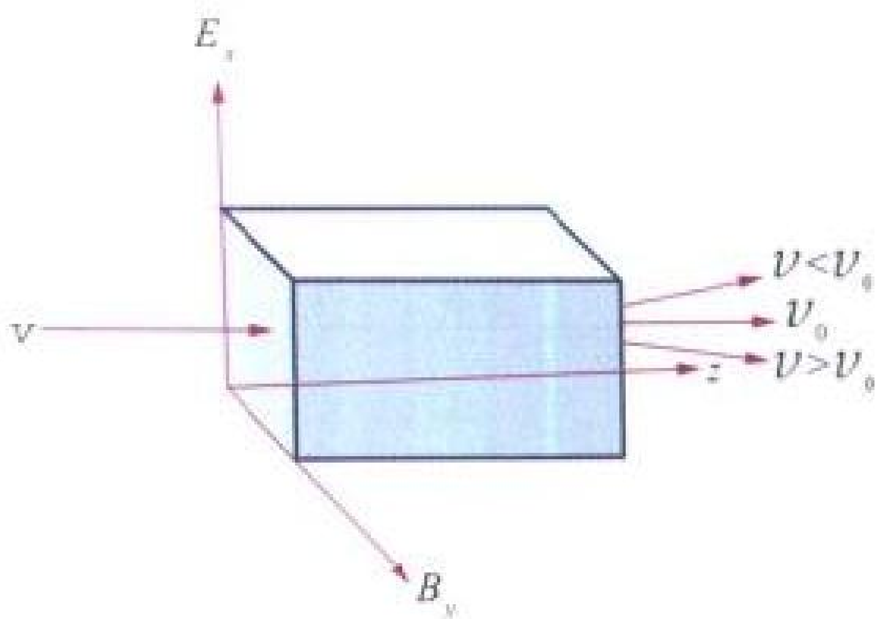

苏联威力最大的热核装置
图出处：Андрюшин И А, и.т.д..Ядерные Испытания СССР. Москва: Издат,1997.

达到50 Mt TNT，成为世界上威力最大的热核装置。该装置是一个三级热核装置，设计的额定威力为100 Mt TNT，试验时采用了威力减半的减威力结构，即把装置中天然铀惰层换成了铅惰层。装置是由全俄技术物理研究院（车里雅宾斯克-70）设计的，是一个比较“干净”的核装置，聚变威力份额占97 %。

（撰写：兰家亨 审订：郑绍唐）

sudu guolüqi

速度过滤器 Wien filter 又称Wien过滤器。一种粒子速度选择器（见图）。这种光学元件采用垂直于粒子传播方向又相互正交的电场 E_0 和磁场 B_0 构成的一个交叉场结构。它的特点是只对特定的速度为 v_0 的粒子是透明的，而对其他具有不同于 v_0 的粒子是不透明的。如图所示，在交叉场区电场方向为正 x 方向，磁场方向向外为正 y 方向，一个带正电荷 q 的速度为 v 的粒子沿 z 轴进入场区，它将受到正 x 方向的电场力 $F_e=qE_0$ 和方向为负 x 方向的洛伦兹力 $F_m=qvB_0$。如果这两个力相等，粒子将以合力为零的结果穿过交叉场区而不受到偏转。即当粒子的 $v=v_0=E_0/B_0$ 时，对它是透明的，这就是平衡条件。但是，如果粒子速度 $v \neq v_0$ $(=E_0/B_0)$，它将受到偏转，从而实现了对粒子速度的选择。速度过滤器的特点是在中心粒子不偏转的情况下实现对粒子速度的分析。



速度过滤器示意图

（撰写：关遐令 审订：王传英）

suliao shanshuoti

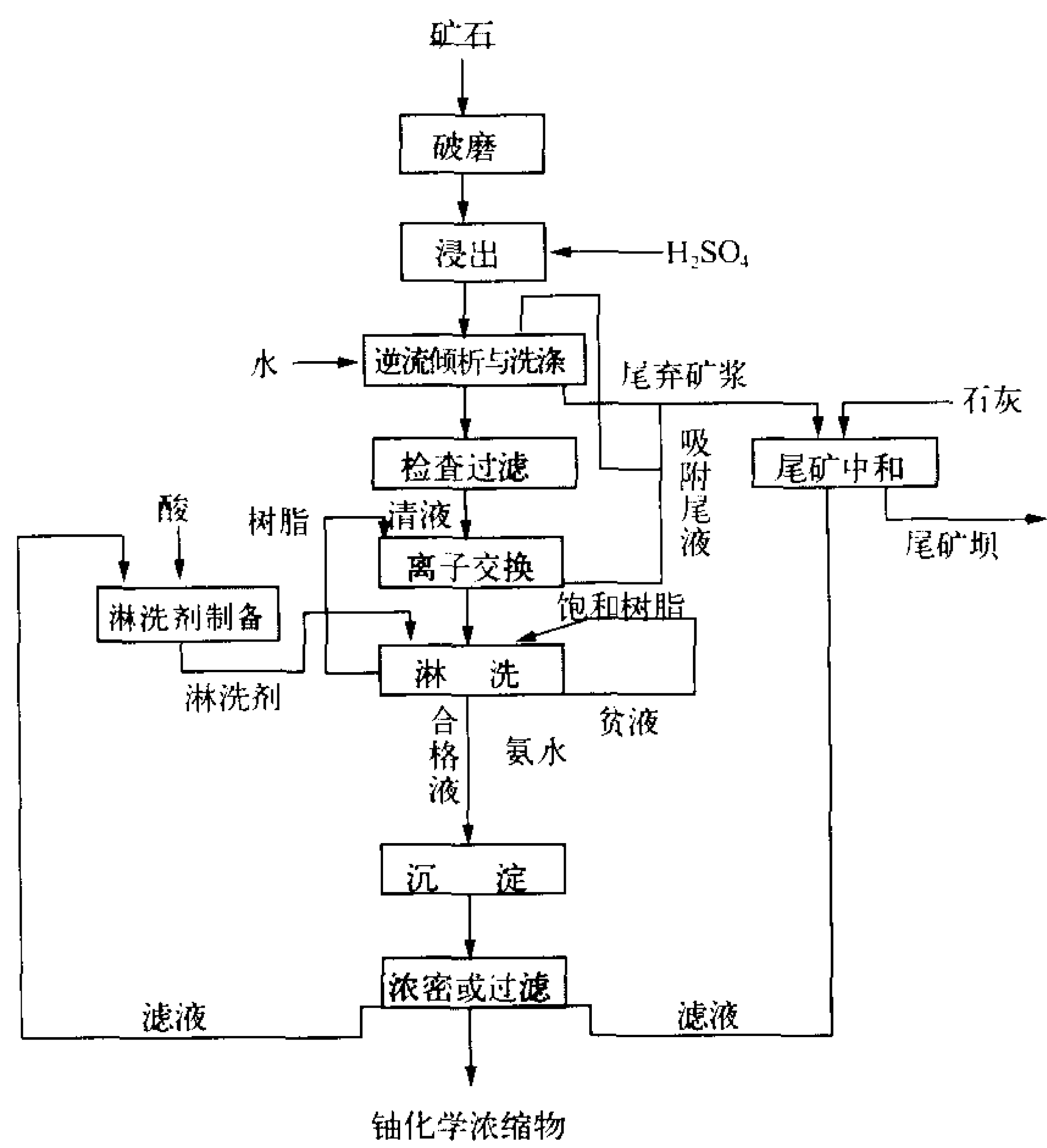
塑料闪烁体 plastic scintillator 一种有机闪烁物质在塑料中的固溶体。它通常由基质闪烁物质及移波剂组成。塑料闪烁体的发射波长在390～820 nm区间，相对于蒽晶体闪烁体的光输出为30 %～70 %，其主要特点是：闪烁衰减时间很短（1～3.5 ns），不潮解，透明度好；较容易制备和加工，可以制成各种形状及大体积的闪烁体；易加入必要的灵敏物质。其耐辐照性能好。塑料闪烁体价格低廉。现今，它是制备特大型闪烁探测器的优选闪烁体之一。塑料闪烁体基质的性质、纯度、聚合的完全与否对闪烁体的能量转换效率有显著影响。最常用做闪烁体基质的是聚乙烯基甲苯和聚苯乙烯。聚2，4-二甲基苯乙烯是一种更好的基质。塑料闪烁体通常含有一种闪烁物质，或者含有一种闪烁物质和一种移波剂，

后者用来吸收闪烁光子并发射波长更长的光子的一种荧光化合物。塑料闪烁体的主要特性在很大程度上取决于闪烁物质和移波剂的性质、含量及纯度等。加有重金属有机化合物的塑料闪烁体对γ射线有较高的探测效率。塑料闪烁体广泛用于探测α，β，γ，X射线，快中子，裂变碎片，高能粒子及宇宙射线等。塑料闪烁体的缺点是能量分辨本领较差，一般仅用做射线强度或时间信号测量。

（撰写：汲长松　审订：彭华寿）

suanfa liucheng

酸法流程　acid process　用酸法（主要是硫酸）浸出铀矿石并从浸出液中制备铀化学浓缩物或核纯产品的工艺过程（见图）。酸法流程分为：酸浸—清液吸附流程、酸浸—矿浆吸附流程、酸浸—清液萃取流程、酸浸—矿浆萃取流程、酸浸—淋萃流程及直接生产 UF_4 流程。



酸浸—清液吸附流程示意图

（撰写：关自斌　审订：夏润身）

suan xiaohua

酸消化　acid digestion　用氧化性酸将可燃废物化学分解成简单组分的方法。又称酸煮解或化学燃烧法。酸消化是湿法氧化的一种方法，常用浓 H_2SO_4 和 HNO_3（作氧化剂）的混合物与放射性可燃固体废物作用，有机物被破坏而转变成 CO_2、CH_4 和 H_2O 等。酸消化过程中产生的 SO_2 可被 HNO_3 氧化成 SO_3 后而以 H_2SO_4 形式回收；生成的 NO_x 可通过氧化（空气或 H_2O_2）和水吸收而以 HNO_3 形式回收。该法与焚烧法相比有两大优点：一是操作温度低，通常为 250℃；二是生成的残渣主要是可溶性的无机硫酸盐或氧化物，容易从中回收有用物质，如钚等。例如，欧洲乏燃料化学后处理公司于1983～1985年处理含钚废物的验证试验中，用此法处理了800 kg废物，从中回收了7 kg钚，回收率达99.9%。

（撰写：范显华　审订：罗上庚）

suiji lengque

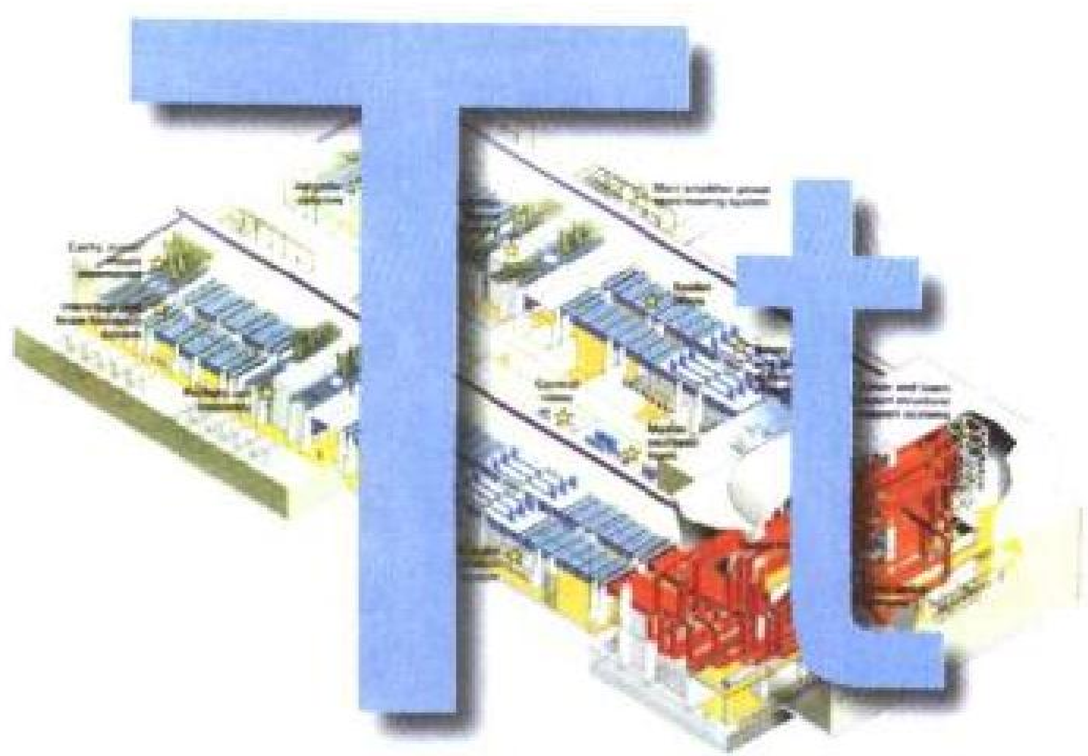
随机冷却　random cooling　见束流冷却。

suoleikesi liucheng

梭雷克斯流程　THOREX process　用磷酸三丁酯（TBP）作萃取剂，从辐照钍基核燃料的硝酸溶液中分离铀、钍和裂变产物的溶剂萃取法核燃料后处理流程。该流程以煤油稀释的磷酸三丁酯作萃取剂，硝酸铝或硝酸作盐析剂，从含钍、铀、镤和裂变产物溶液中，将钍、铀萃入有机相，镤和裂变产物保留在水相；而后用不同浓度和流比的稀硝酸先反萃钍，再反萃铀来实现钍和铀的分离。已经研究了多种梭雷克斯流程，常用的有缺酸进料流程和酸性流程两种，前者以硝酸铝为盐析剂，多用于处理铝包壳的辐照钍燃料元件，后者以硝酸为盐析剂，多用于处理脱去不锈钢外壳后的辐照钍燃料。

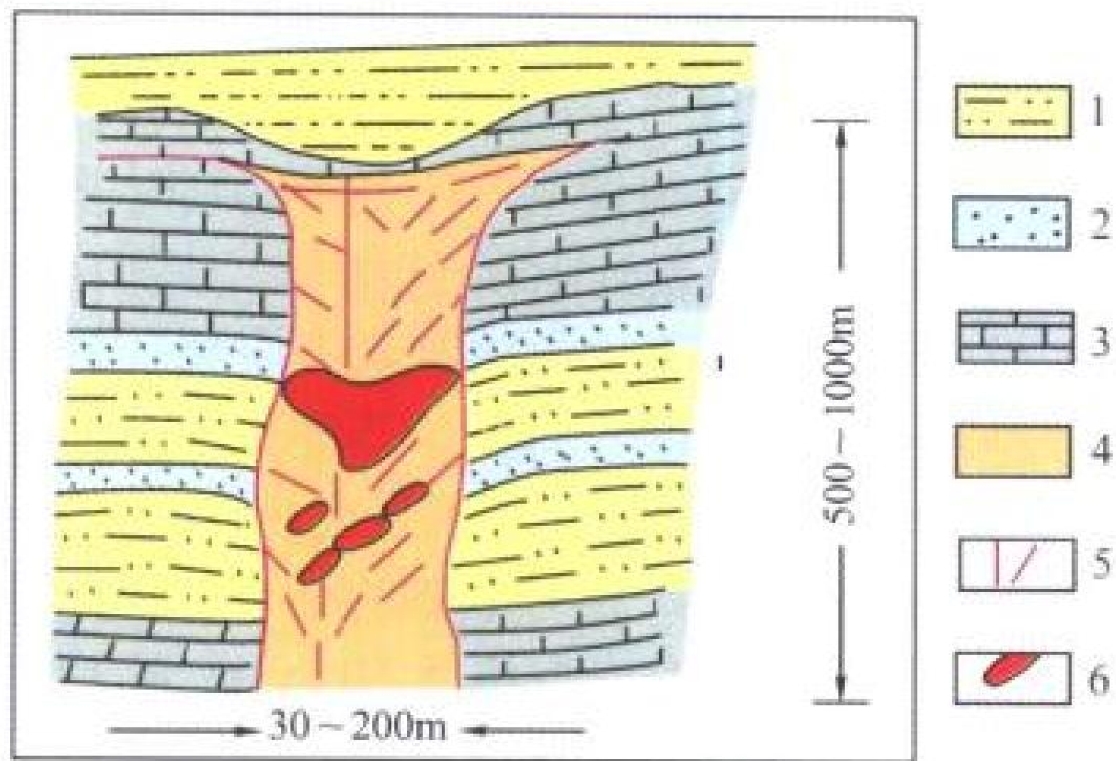
（撰写：马栩泉　审订：林漳基）

S



taxianjiaoliyantong youkuangchuang

塌陷角砾岩筒铀矿床 collapse breccia pipe uranium deposit 产于由崩塌下落的沉积岩的粗屑（角砾）和细粒基质充填的塌陷构造内的铀矿床(见图)。矿石中主要铀矿物为沥青铀矿和铀石，伴生较多的黄铁矿、白铁矿和其他金属硫化物、砷化物以及少量铁、铜、镍、钴等的氧化物、碳酸盐和石英。典型的塌陷角砾岩筒铀矿床见于美国亚利桑那州地区的早三叠世水平产出的海相至滨海相灰岩、泥岩、砂岩沉积中。



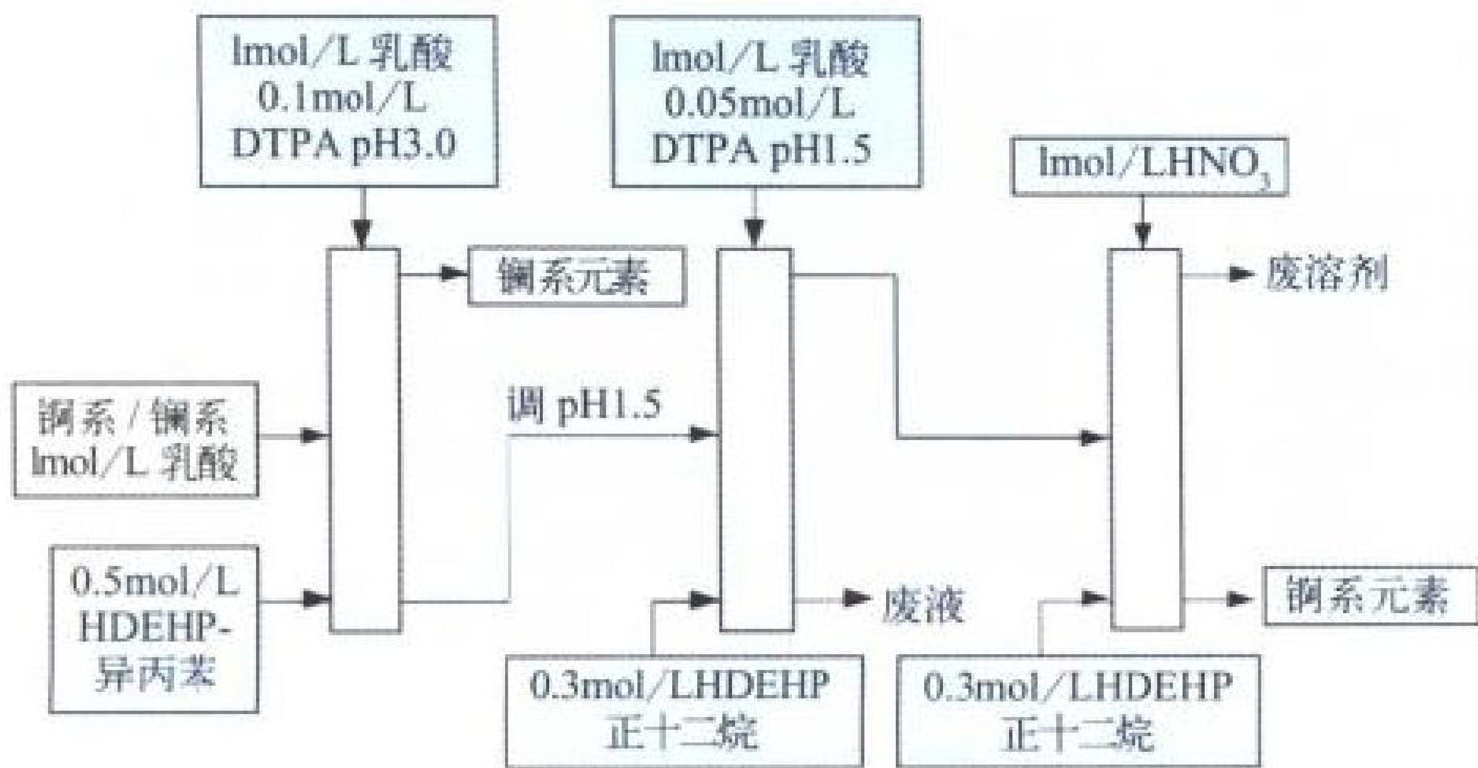
塌陷角砾岩筒铀矿床示意图

1—粉砂质沉积岩；2—砂质沉积岩；3—碳酸盐岩；4—塌陷角砾岩；5—裂隙；6—铀矿化体

（撰写：陈祖伊 审订：赵凤民）

ta'ersipike liucheng

塔尔斯皮克流程 TALSPEAK process 一种可以有效地分离三价锕系元素和镧系元素的化学流程。TALSPEAK是英文Trivalent Actinide-Lanthanide Separation by Phosphorus reagent Extraction from Aqueous Komplexes的缩写。该流程是用二(2-乙基己基)磷酸(HDEHP)为萃取剂，在水相存在二乙撑三胺五乙酸(DTPA)和乳酸的条件下进行分离的。塔尔斯皮克流程如图所示。塔尔斯皮克流程的最大优点是采用硝酸介质，可以在不锈钢设备中操作。它的缺点是要将料液调至低酸，萃取过程中溶液pH值不易控制，以及二次废物量大等。



塔尔斯皮克流程示意图

（撰写：叶国安 审订：朱永赌）

taiyoukuang

钛铀矿 brannerite 钛铀的复杂氧化物，理论化学式为UTi_2O_6。该矿物发现于美国爱达荷州。自然界的钛铀矿经常含有钙、铁、钍、钇等元素，化学式为：$(U, Ca, Fe, Th, Y)(Ti, Fe)_2O_6$。钛铀矿具单斜晶系。1972年在我国发现具斜方晶系的钛铀矿，并定名为斜方钛铀矿(orthobrannerite)。其晶体呈柱状、板状，晶面上有纵条纹。有时见隐晶质的集合体。颜色为黑色、沥青光泽或金刚光泽。贝壳状断口、性脆。硬度4.8～6.5，相对密度4.5～5.46，具电磁性。折光率$N = 1.95 \sim 2.35$，反射率为15.3%～16.8%。由于矿物易变生而呈均质。钛铀矿产于伟晶岩型和碱交代型热液铀矿床中，与晶质铀矿、锐钛矿、钠长石（钾长石）等共生。斜方钛铀矿产于黑云母辉石正长岩或碱性煌斑岩中。



斜方钛铀矿晶体

（撰写：赵凤民 审订：胡绍康）

tantaxing baoqiao

坍塌型包壳 collapsible cladding 一种在冷却剂压力作用下与燃料芯体直接接触(紧贴)的包壳。加拿大CANDU型重水堆的燃料棒就采用这种包壳。在反应堆运行过程中，这种包壳（厚度约0.4 mm）“坍塌”于芯体上，与芯体共同抵御冷却剂的压力；这种包壳管壁薄可减少中子损失。但如果芯体变形过大（例如，在燃耗较深时的芯体肿胀变形或功率剧增时的芯体热变形）可能导致包壳的过度变形。因此，这种包壳只宜在铀燃耗较低（一般限于10000 MW·d/t左右）的情况下使用。（撰写：张忠岳 审订：黄玉才）

tanxing sanshe

弹性散射 elastic scattering 见散射。

tanhuayou

碳化铀 uranium carbide 铀与碳组成的二元化合物。U-C二元系有UC，UC_2和U_2C_3三种化合物，惟有UC在熔点2780 K以下是稳定的。当$T > 1400$ K时，出现$UC_{1\pm x}$；$T > 2377$ K时，$0.9 \leqslant C/U \leqslant 2.0$。UC属NaCl型面心立方结构，理论密度13.61 g/cm³。与UO_2相比，UC的含铀密度高(12.92 g/cm³)，在1273 K时，其热导率（21.7 W/(m·K)）约为UO_2的8倍。用UC作燃料棒芯体，芯块径向温度梯度平坦，功率密度较高。对相同输出功率，燃料装载量较少。但因UC的化学性质活泼，遇水发生分解，不宜在水冷反应堆中使用。UC粉末可采用电弧熔化法和碳热还原法，经粉碎、球磨制备。然后经压型和烧结制得97%TD的芯块。为获取化学计量的UC，要严格掌握配料制度，控制反应参数。全部操作应有惰性气氛保护。

（撰写：李文埮 审订：张忠岳）

tan tan fuhecailiao

碳—碳复合材料 C–C composite 以碳或石墨作为基体，用碳纤维或石墨纤维增强的高性能复合材料。它具有高强度、低密度、耐高温、尺寸稳定、抗腐蚀等特点。不仅可用于核聚变、航空航天等高科技领域，而且在汽车工业、化学工业、体育用品等民用领域也得到越来越广泛的应用。在聚变堆中，碳—碳复合材料可望用于内衬、偏滤器、限制器等面对等离子体部件。在此环境中，材料需承受高热负荷冲击、中子辐照及氢同位素离子轰击等，因此除要求具有常规的高温性能外，还要求材料具有良好的导热性、抗氢同位素离子溅射腐蚀、耐中子辐照等性能。采用石墨纤维增强的石墨基碳—碳复合材料热导率可达 300 W · m^{-1} · K^{-1}。

（撰写：张 斉 审订：钱尚介）

taoci chanchuan bajian

陶瓷产氚靶件 ceramic target for tritium production 用含锂陶瓷作芯体、不锈钢或铝合金作包壳制成在反应堆中实现辐照产氚的靶件。陶瓷产氚靶件的结构因反应堆类型不同而异。

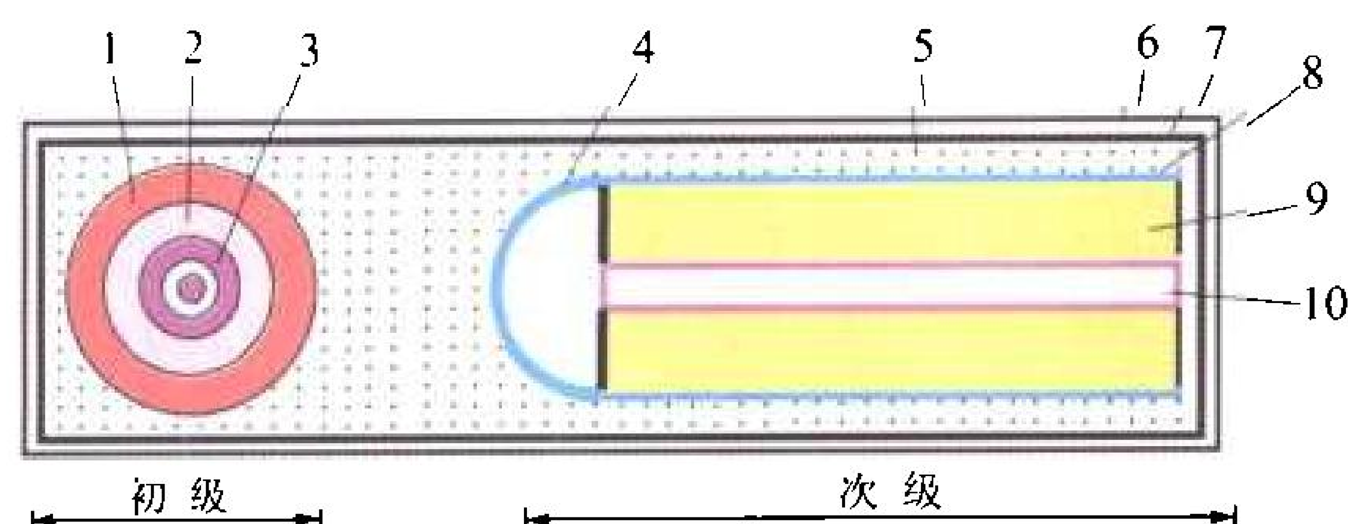
（撰写：卢浩琳 审订：韩延德）

taoci ranliao

陶瓷燃料 ceramic fuel 由难熔化合物组成的核燃料。有两类：由铀（或钚）与氧、碳、氮等形成的单一化合物和由铀、钚（或钍、铀）的同种化合物组成的互溶混合物。氧化物具有熔点高、热和辐照稳定性好、与包壳及冷却剂材料相容性好等优点。其中，UO_2 是目前大多数热中子动力堆的燃料，(U, Pu) O_2 和 (U, Th) O_2 则分别是快中子增殖堆、轻水堆和高温气冷堆的燃料。碳化物和氮化物的重原子密度高，导热性好，但易与水、空气反应，制备困难。前者与包壳的相容性差，后者的 ^{14}N 对快中子有高的寄生俘获。混合碳化物曾在快中子增殖试验堆（FBTR）使用过，但目前两者基本上还处于研究和试验阶段。（撰写：李文埃 审订：张忠岳）

tele wulamu gouxing

特勒—乌拉姆构型 Teller–Ulam configuration 以分级和辐射驱动内爆压缩为主要概念的、由E.特勒（Edward Teller）和S.乌拉姆（Stanislaw Ulam）共同提出的热核武器设计方案（见图）。技术上叫"分级、辐射内爆原理"。迄今所知，所有大威力热核武器都是这种设计。特勒—乌拉姆构型的三个主要概念是：(1) 分级——为热核燃烧提供能量的裂变或助爆裂变爆炸部分与热核燃料部件完全分开，并分别叫初级和次级。



特勒—乌拉姆构型示意图

1—炸药；2—铍反射层；3—悬置钚芯；4—铀屏蔽体；5—聚苯乙烯充填的辐射通道；6—武器外壳(例如铅)；7—辐射屏蔽壳(例如铅)；8—铀推进层／惰层；9—^{6}LiD 聚变燃料；10—空心钚"火花塞"

图出处：Sublett C. Nuclear Weapon Frequently Asked Questions.http://www.fas.org/nuke/hew/

对于多级热核武器还有第三级，……(2) 辐射耦合——用初级爆炸产生的热辐射通过辐射通道作用于次级；(3) 辐射驱动内爆压缩——热核燃料在点火前通过内爆压缩达到高密度。

（撰写：郑绍唐 审订：徐适新）

teshu jiance

特殊监测 special monitoring 在怀疑或缺乏足够的信息来说明工作场所的安全状况是否得到控制的情况下所进行的一种调查性测量，旨在为弄清某些问题和确定下一步要采取的办法提供详细的信息。特殊监测的实施一般是基于对某一事件的识别，例如：自动空气取样装置发出报警、常规个人监测结果出现异常数据等。从监测方法来讲，特殊监测和常规监测通常并无原则性差别，只是应当注意此时可能需要采用较高的测量量程，同时还应通知相关的监测人员对这些测量给予优先安排。从监测对象来分，特殊监测可以包括对环境、对工作场所以及对人员的监测。

（撰写：夏益华 审订：胡遵素）

teshu qingkuang de jiliang kongzhi

特殊情况的剂量控制 dose control for special situation 如果某一实践是正当的，并且是按照良好的工程实践设计的，辐射防护也按要求进行了最优化，而其职业照射仍然超过正常照射的剂量限值，但预计经过努力可以使有关的职业照射剂量控制在正常照射的剂量限值以下。在这种情况下审管部门可以例外地认可按照相关标准对剂量限值作如下的临时改变：(1) 将剂量平均期破例由 5 年延长到 10 个连续年，并且在此期间内任何工作人员所接受的年平均有效剂量不应超过 20 mSv；任何单一年份不应超过 50 mSv。此外，当任何一个工作人员自此延长平均期开始以来，所接受的剂量累积达到 100 mSv 时，应对这种情况进行审查。(2) 剂量限制的临时变更应遵循审管部门的规定，但任何一年内不得超过 50 mSv，临时更改的期限不得超过 5 年。上述特殊情况下剂量限值的改变，必须由注册者或许可证持有者向审管部门提出正式申请，在申请文件中对需要进行这种改变的特殊情况进行说明。未经审管部门的认可，不得对剂量限制要求进行临时改变，而且任何临时改变均应：(1) 按有关标准规定的适用于特殊情况的剂量限制要求进行；(2) 限定改变的期限；(3) 逐年接受审查；(4) 不再延期；(5) 仅限于规定的工作场所。

（撰写：张延生 审订：马吉增）

teshu xingshi fangshexing wuzhi

特殊形式放射性物质 special form radioactive material 不会弥散的固体放射性物质或装有放射性物质的密封盒。对特殊形式的放射性物质要求如下：(1) 其必须至少有一个尺寸不小于 5 mm。(2) 如果接受规定的冲击、叩击和挠曲试验时，其不会发生断裂或破碎；接受规定的浸出试验时，进入水中放射性活度不超过 2 kBq，对于密封放射源按国家标准《密封放射源的泄漏检验方法》(GB15849—1995) 的规定进行容量泄漏评价试验时，其泄漏率不超过主管部门规定的验收阈值。(3) 当密封盒为特殊形式放射性物质的一部分时，这种盒的结构必须是只有当毁坏它时才能被打开。

（撰写：董柳灿 审订：赵亚民）

teshu xingneng hewuqi

特殊性能核武器 tailored effects nuclear weapon 将核武器

的某种杀伤破坏效应根据作战需要加以增强或减弱的氢弹。已经研制成功的特殊性能核武器有增强瞬时核辐射（主要是高能中子）效应、同时削弱冲击波、热辐射效应的中子弹（即增强辐射武器），减少剩余放射性效应、同时增大了冲击波效应的弱剩余放射性弹（即冲击波弹），还有增强放射性沾染效应的感生放射性弹和增大X射线输出并改变其频谱的增强X射线弹。 （撰写：郑绍唐 审订：徐逭新）

teyixing neizhaoshe zhiliao

特异性内照射治疗 specific inter-radiation therapy 放射性药物通过口服、注射或吸入后，特异性地浓聚于体内某个器官或病灶组织，以达到治疗目的的一种放射治疗方法。特异性内照射在一些疾病的治疗中可发挥出独特的优势，常常是其他治疗方法难以取代的。例如碘为甲状腺激素合成的原料，可利用 ^{131}I 治疗功能自主性甲状腺瘤、甲状腺功能亢进症及甲状腺转移癌；又如间位碘代苄胍（MIBG）为肾上腺能受体的特异结合配基，临床上可用 ^{131}I-MIBG 治疗嗜铬细胞瘤；此外，^{131}I 标记的抗胃癌单克隆抗体（MG_7）治疗胃癌等业已用于临床。 （撰写：王荣福 审订：吕延晓）

tezhong keliebian cailiao

特种可裂变材料 special fissionable material ^{239}Pu；^{233}U；富集了同位素 ^{235}U 或 ^{233}U 的铀；含有上述一种或几种物质的任何材料；国际原子能机构理事会随时确定的其他可裂变材料，源材料除外。 （撰写：刘大鸣 审订：李 泽）

tengchongyoukuang

腾冲铀矿 tengchongite 含水的钙铀酰钼酸盐，化学式为 $CaO \cdot 6UO_3 \cdot 2MoO_3 \cdot 12H_2O$，该矿物发现于我国云南省腾冲县。斜方晶系，晶体沿{001}呈云母片状、薄板状、板状。解理沿{001}完全。硬度2~2.5，密度4.25。在紫外光照射下不发荧光，二轴晶负光性。折光率：N_p=1.663，N_m=1.760，N_g=1.762，光轴角 $2V$=16°。腾冲铀矿产于内生铀矿化点的氧化带中，与钙铀云母、水丝铀矿、钼钙铀矿共生。

（撰写：赵凤民 审订：胡绍康）

tienti dangliang

梯恩梯当量 TNT equivalent 用释放相同能量的TNT炸药的质量表示核爆炸释放能量的一种习惯计量，又写成TNT当量。也可用于表示非核爆炸释放的能量。核弹爆炸释放的能量，即其威力大小，通常用“吨TNT当量”作计量单位，符号为“t TNT”。1 kg TNT炸药爆炸时释放的能量约为4.19 μJ。各种裂变材料的能量含量为：^{235}U 约为17.6 kt TNT/kg；^{239}Pu 约为17.3 kt TNT/kg；纯氚约为83 kt TNT/kg；^{6}LiD 约为64 kt TNT/kg；氘氚（50∶50）约为81 kt TNT/kg；^{7}LiD 约为38.7 kt TNT/kg；天然氘化锂约为41 kt TNT/kg。

（撰写：兰家亨 审订：郑绍唐）

tisheng fangshi

提升方式 leachate lift method 地浸采铀过程中从抽液钻孔中将浸出液从地下提升到地表所采取的方式。根据抽液设备的不同，提升方式分为潜水泵提升和空气提升两种，空气提升基建投资少，但营运费用高；潜水泵提升初期投入稍大，但电耗低、成本低、管理方便，更主要的是对深井提升有利。提升方式对井型、井距、钻孔直径、钻孔生产能力等影响极大，不论选择哪种方式，均需满足如下要求：(1) 抽液能力应达到设计指标；(2) 操作简单，效率高，使用寿命长；(3) 具有较高的技术经济指标；(4) 提升设备具有一定的耐腐蚀性能；(5) 设备来源方便，通用性及互换性强。目前采用潜水泵提升较多，国内地浸铀矿山正由以空气提升为主向采用潜水泵提升过渡。 （撰写：苏学斌 审订：李开文）

tidianhuo

体点火 volume ignition 整体热核燃料实现点火。相对中心点火，体点火在技术上要求较低，靶球结构简单。体点火的关键在于“两级点火”：首先，实现第一级平衡点火，之后系统在自身热核放能的作用下温度进一步提高，直至达到非平衡点火阈值温度而实现第二级非平衡点火。为了实现第一级点火，必须在热核燃料外围有一个很好的保温层。它一方面使对燃料的作功大于系统的热量流失，系统温度得以上升；另一方面又使系统平衡点火阈值温度降低，并保证系统能达到非平衡点火状态。体点火要求比中心点火更多的点火能量，增益也更低些，因而需要离子束驱动。离子束驱动的耦合效率较高，可以降低驱动能量；同时离子驱动器本身效率较高，也降低了对增益的要求。 （撰写：李沄生 审订：常铁强）

tianguang 1 jiguang zhuangzhi

“天光”1 激光装置 tianguang1 laser facility 中国原子能科学研究院6束角多路传输氟化氪激光装置。它由前端（Lpx-150型放电抽运KrF激光器）、两极电子束双向抽运双程放大器、光学系统、激光同步触发系统、控制系统和靶室组成。Lpx-150输出的248 nm，23 ns，400 mJ的光束经空间滤波器和分束器形成3束脉冲链，若以稍不同角度相继进入 ϕ 12 cm口径的电子束抽运放大器（预放大器：90 ns，44 J），双程放大后再分束形成6束脉冲链，再经 ϕ 27 cm口径的电子束抽运放大器（主放大器：180 ns，400 J）双程放大，然后消延时，6束同时打在靶上。经主放大器输出功率达百焦耳量级，靶上功率密度将达 10^{13} W·cm^{-2}。电子束抽运放大器如图所示。该装置主要用于激光惯性约束核聚变和激光与物质相互作用的基础研究。



电子束抽运预放大器（前）和主放大器（后）

（撰写：马维义 审订：单玉生）

T

tiankong fanshe

天空反射 sky shine 又称天空散射。在辐射源设有足够厚的屏蔽墙而无顶部屏蔽，或辐照室屋顶较薄的情况下，射向天空的辐射受大气的反散射作用，造成屏蔽墙周围地面附近辐射场增强的现象（图 1）。以一个 ^{60}Co 点源为例，设该源位于敞口圆形屏蔽墙中心的地面上，屏蔽墙高 4 m，厚 1 m，内径 3 m，用蒙特卡罗方法算出天空反射在墙外 1 m 高处的 P 点

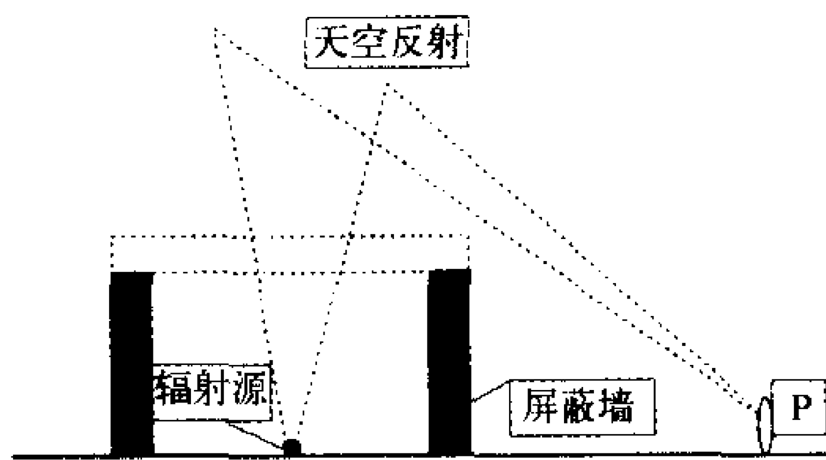


图 1 天空反射示意图

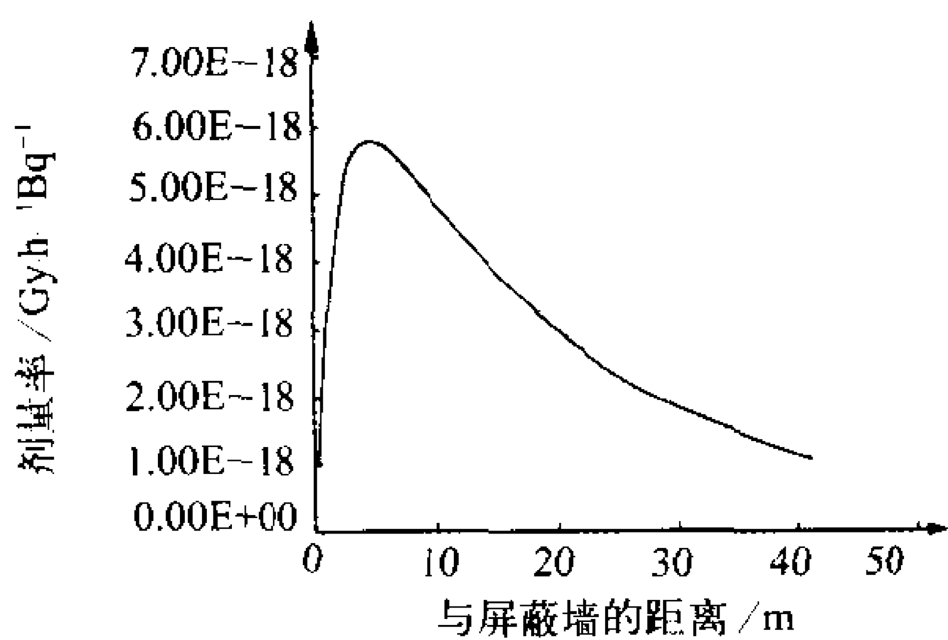


图 2 天空反射在屏蔽墙外 1m 高处产生的剂量率

造成的剂量率（图2）。注意当P点处于屏蔽墙的墙根下时，剂量率反而较低，说明直接穿透屏蔽墙的辐射份额与天空反射相比很小。因此在评估辐照室对周围环境的影响时，不能只测屏蔽墙外近处的剂量率。天空反射现象提醒人们，辐照室的设计必须有足够厚的顶部屏蔽（如图 1 屏蔽墙顶部虚线所示）。如需设置天窗，天窗必须加塞。

（撰写：胡遵素 审订：潘自强）

tianran fanyingdui

天然反应堆 Oklo natural reactor 指加蓬共和国的奥克洛铀矿裂变区。该铀矿区 ^{235}U 组分与其他地区天然铀中的不一样，平均只有 0.62 %；大多数铀的裂变产物的丰度明显高于相应核素的天然丰度，与裂变产额十分接近，人们认为这是发生过自持链式裂变反应的结果。因而称该铀矿区为天然反应堆。初步研究，大致认为这个天然反应堆在距今 18亿年前开始达到临界，功率水平为 10～100 kW，断续地启动停止持续了大约数十万年之久。参与裂变反应的铀矿石约 500 t，反应堆释放出的总能量为 10000～15000 MW · a，中子注量约为 1.5×10^{21} m^{-2}。不过还有很多问题没有弄清楚，例如它是如何达到临界的，反应进行期间怎样自行调节，以后又是怎样停止的等。该反应堆所产生裂变产物在十几亿年中迁移距离很短（约 10 m），为现今设想的高放废物深地层处置方案的安全性提供了一种旁证。（撰写：何可学 审订：连培生）

tianran fangshexing

天然放射性 natural radioactivity 天然存在的核素具有的放射性。这种现象是由法国科学家H.贝可勒尔（Becquerel）于 1896 年发现的。他发现铀化合物能使用黑纸包裹的照相底片感光。现在知道，这些贯穿性辐射是与铀处于长期平衡的子体核素发出的硬 β 粒子和 γ 射线。具有天然放射性的核素可分为两类：一类是具有与地球年龄（4.6×10^9 a）相近或更长的长寿命核素，如 ^{40}K，^{87}Rb，^{232}Th，^{235}U，^{238}U 等；另一类核素是 ^{232}Th，^{235}U，^{238}U 为原始核素的 3 个天然衰变系中的成员。它们本身半衰期虽短，但与长寿命原始核素处于长期平衡状态而存在于自然界中。 （撰写：郭景儒 审订：崔安智）

tianran fangshexing hesu

天然放射性核素 natural radioactive nuclide 在自然界天然存在、自发进行放射性衰变的核素。根据核素来源可将天然放射性核素分为 3 类：3 个天然放射系（铀系、钍系和锕系），共有 49 个不同的放射性核素，分别属于原子序数为 81 (Tl) 至 92 (U) 的 12 种元素；不成系列的长寿命核素（如 ^{40}K、^{87}Rb、^{115}In，^{157}Re，^{50}V 和 ^{190}Pt 等），半衰期一般都在 $10^8\sim10^{15}$ a 之间；宇宙射线作用于地球大气层产生的核素（如 ^{3}H，^{7}Be，^{14}C，^{22}Na，^{31,32}Si，^{36,38}Cl，^{39}Ar 和 ^{129}I 等），一般在自然界的浓度很低。一些长寿命天然放射性核素在地球形成时就早已存在，故某些母体核素及其衰变子体存在于自然界的放射性矿物中。通过矿石开采、水冶、精制、浓缩等加工过程可提取出具有重要应用价值的天然放射性核素，如 ^{235}U，^{238}U，^{232}Th，^{226}Ra 等。

（撰写：吕延晓 审订：卢玉楷）

tianran fangshexing shuaibianxi

天然放射性衰变系 decay series of natural radionuclides 包含若干天然放射性核素的系列中，每一种核素通过放射性衰变（不包括自发裂变）转变为下一种核素，直至形成一种稳定核素。有时简称放射系或衰变系。3 个不同长半衰期原始核素 ^{232}Th，^{235}U，^{238}U 分别构成3 个天然放射性衰变系。这 3 个天然放射系中，都存在放射性气体元素氡的同位素，最终形成的稳定核素都是铅的同位素。天然放射系的发现及各核素的分离研究，是 19 世纪末到 20 世纪 30 年代放射化学研究的重要成就之一。 （撰写：张丕禄 审订：郭景儒）

tianran fangshexing yuansu

天然放射性元素 natural radioactive element 所有的同位素都具有放射性的天然元素。它们是钋、氡、钫、镭、锕、钍、镤和铀。铀和钍具有长寿命的同位素，如 ^{238}U 的半衰期为 4.468×10^9 a，^{232}Th 的半衰期为 1.405×10^{10} a，与地球的年龄（4.6×10^9 a）相近，所以仍在地球上存在。其他天然放射性元素的同位素的半衰期相对地球年龄而言很短，但是它们作为与铀和钍达到平衡的子体，也可在自然界中长期存在。天然放射性元素中铀是重要的核原料，现已工业规模开发利用。钍也是重要核原料，但尚未得到充分利用。镭在医学和钟表工业中在早期曾得到应用，但现在已被人工放射性核素所取代。 （撰写：郭景儒 审订：崔安智）

tianran fusheyuan

天然辐射源 natural radiation source 天然存在的辐射源。它们产生的辐射称为天然本底辐射，来源于下列三个方面：宇宙辐射，宇生放射性核素，原生放射性核素。宇宙辐射包括初级宇宙射线和次级宇宙射线。前者有初级银河系宇宙射线和初级太阳宇宙射线，主要是高能质子和重带电粒子。次级宇宙射线是由初级宇宙射线进入大气层与空气中的原生核发生反应产生的中子、质子、π 介子和 K 介子等。宇生放射

性核素是宇宙射线通过各种不同的核反应在大气层、生物圈和岩石层中产生的一系列放射性核素，就对人类照射剂量而言，最重要的 4 种核素是 ^{3}H, ^{7}Be, ^{14}C 和 ^{22}Na。原生放射性核素从地球形成之时起就存在于地壳中，不同程度地存在于空气、水、土壤、岩石和生物体内，构成陆地辐射，其半衰期可与地球年龄相比较，主要有 ^{40}K (半衰期为 1.28×10^{9} a), ^{232}Th (半衰期为 1.41×10^{10} a) 和 ^{238}U (半衰期为 4.5×10^{9} a)。其次是 ^{87}Rb (半衰期为 4.7×10^{10} a) 和 ^{235}U (半衰期为 7.04×10^{8} a)。^{232}Th, ^{238}U 和 ^{235}U 分别为天然放射性钍系、铀系和锕—铀系衰变链的祖代核素。各子代核素的半衰期远小于祖代。在这些子代中，放射性元素氡有三个天然同位素，即 ^{235}U 系列中的 ^{219}Rn (锕射气)；^{232}Th 系列中的 ^{220}Rn (钍射气)；^{238}U 系中的 ^{222}Rn (氡)，其中最有放射防护意义的是 ^{222}Rn。氡及其衰变产物在天然辐射所产生的剂量中所占比例最大。

（撰写：黄治俭　审订：杨华庭）

tianran pingzhang

天然屏障　natural barrier　天然存在的地质介质，如主岩和土壤等，它是放射性废物安全处置的主要隔离屏障之一。适宜于低中水平放射性废物处置的地质介质有各类沉积岩和土壤等。适宜于高放废物处置的地质介质有花岗岩、岩盐、凝灰岩、黏土岩、玄武岩等。处置场所选的地质介质应具有均匀、面积广和厚度大的特点。良好的隔水屏障应该是孔隙度较小或裂隙较少，含水量较低，水渗透率较小。对放射性核素具有较强的吸附能力，是良好的滞留屏障。地质介质所处的地域地质条件相对简单，地质稳定、无破坏性地震和活动地表过程。无影响地下水长期稳定性的因素，不会被洪水淹没，在废物处置库所要求的时间内始终能起屏障作用。

（撰写：黄雅文　审订：陈　式）

tianranshui zhong you de fenbu

天然水中铀的分布　distribution of uranium in natural water　天然水指地球上海洋和大陆表面的冰川、湖泊、河流及各种地下水构成的水圈中的各种水体。海水为相对均一的介质，所以其中铀的含量基本是稳定的，但在局部海区铀含量可能增高。海水含铀一般稳定在 0.3×10^{-6}～3.3×10^{-6} g/L，平均为 1.3×10^{-6} g/L。湖泊水中的铀含量变化很大，主要决定于水源、地理位置、气候条件等，变化范围一般为 3×10^{-8}～$n \times 10^{-4}$ g/L，平均 8×10^{-6} g/L。河水中的铀含量与流经的岩石、水化学成分等因素有关，变化在 2×10^{-8}～5×10^{-5} g/L，平均 6×10^{-7} g/L。地下水中铀含量变化范围较大，流经正常岩石的地下水含铀一般小于 $n \times 10^{-5}$ g/L；流经铀含量高的岩石的地下水铀含量达 $n \times 10^{-5}$～1×10^{-4} g/L。

（撰写：胡绍康　审订：赵凤民）

tianran zhaoshe

天然照射　natural exposure　由天然辐射产生的辐射照射，包括外照射与内照射两部分。外照射源主要有宇宙辐射和由地壳中的原生放射性核素产生的陆地辐射。内照射的主要途径是食入和吸入，其中吸入天然放射性核素 ^{222}Rn 和 ^{220}Rn 及它们的子体产生的内照射剂量约占居民平均天然照射剂量的一半。全球居民所受天然照射的年平均有效剂量约为 2.4 mSv。天然照射是全人类接收辐射照射的主要来源，约占总年剂量的 85%。与之相比，医疗照射占 14%，核能在全球产生的剂量占 0.007%（见图）。

2000 年天然源和人工源的年人均有效剂量(mSv)

（撰写：宣义仁　审订：杨华庭）

tianti hefanying

天体核反应　nuclear reactions in the cosmos　宇宙和天体中发生的各种热核反应和散裂反应。前者发生在原始火球大爆炸后最初几分钟的原初核合成阶段和恒星演化的过程中，后者由高能宇宙线与星际物质的相互作用引起。天体核反应和核衰变是形成宇宙中除 ^{1}H 以下的所有元素和核素的过程，也是星体演化能量的来源。原初核合成的过程从 $^{1}H(n,\gamma)^{2}H$ 反应开始，相继产生 ^{2}H, T, ^{3}He, ^{4}He, ^{6}Li 和 ^{7}Li。由于高温和高密度的环境使反应流扩展到放射性核区，以 $^{7}Li(n,\gamma)^{8}Li(\alpha,n)^{11}B$ 等包含放射性核的反应链为桥梁，跨越 $A = 8$ 处没有稳定核的间隙，产生微量的 $A \geqslant 9$ 的一系列重核。在恒星平稳演化阶段中，其内部的温度和密度相对较低，热核反应以渐进的模式发展。主要的过程是：(1) 通过 p–p 反应链、CNO 反应链和 NeNa–MgAl 反应链进行氢燃烧。p–p 链从 $^{1}H(p,e^{+}\nu_{e})^{2}H$ 反应开始，继而发生 $^{2}H(p,\gamma)^{3}He(^{3}He,2p)^{4}He$, $^{3}He(\alpha,\gamma)^{7}Be$ 等反应。CNO 反应链如图所示。(2) 始于

CNO 反应链

$3\alpha \rightleftharpoons {}^{12}C^{*} \rightarrow {}^{12}C + \gamma$ 反应的氦燃烧，接下去的反应有 $^{12}C(\alpha,\gamma)^{16}O(\alpha,\gamma)^{20}Ne$ 等。(3) 碳、氖、氧的燃烧。(4) 硅燃烧。质子、中子和 α 粒子在 Si, Mg 等核上的俘获反应使反应流不断向上发展，产生铁附近的多种核素。(5) 慢速中子俘获过程（s-过程），其反应路径和产物在稳定线附近，产生铁以上的重核。在短暂的高温和高密度的天体环境中，例如超新星爆发事件和超大质量恒星中，许多短寿命放射性核素俘获核子或 α 粒子的反应速率接近或超过其 β 衰变的速率，热核反应流扩展到远离稳定线，直至滴线的广大核区。主要的反应模式有：(1) 高温 p–p, CNO, NeNa–MgAl 反应链和接着的快速质子俘获（rp–）及 αp- 过程，反应流可达到 A=100 核区；(2) 高温氦到硅的燃烧；(3) 快速中子俘获（r–）过程，产

生 $A \geqslant 60$ 的丰中子一侧的重核；(4) p 过程，通过质子俘获产生缺中子一侧的重核。以天体核反应为主要研究对象之一的核天体物理是核物理和天体物理的交叉学科，已成为快速发展的前沿领域。 （撰写：白希祥 审订：许谨诚）

tianchong liuhuachuang fanyingqi zhibei liufuhuayou

填充流化床反应器制备六氟化铀 production of uranium hexafluoride with fluidized-packed bed reactor UF_4 氟化生产 UF_6 的一种方法。填充流化床反应器在流化床物料中，添加一定比例的不参加化学反应的惰性粒子以改善操作性能。UF_4 在高温下与 F_2 发生的反应是强烈的放热反应，且反应速度很快，难以在一般的流化床反应器中形成"沸腾床层"。为了稳定流化床操作和提高物料的传热效率，在流化床中加入一定量的 CaF_2 颗粒，作为填充物料或稀释剂，形成填充流化床反应器。这种反应器对原料的适应性强，既可氟化纯 UF_4，又可氟化工业级 UF_4。一台直径 1～1.5 m 的流化床，温度 560 ℃左右，产量可达 3000～5000 tU/a，它是氟化过程中应用较为广泛的气固反应器。 （撰写：隋富志 审订：朱永𬀩）

tiaoxieqi

调谐器 tuner 用以调节高频腔谐振频率及场分布的装置，分电感调谐器和电容调谐器。电感调谐器一般为活塞圆柱式，大多安放在腔体磁场较集中处，在腔里像活塞一样伸入或拉出都将改变这一区域的磁场分布，即改变腔体的储能及等效电感，从而改变腔的谐振频率。为使腔的谐振频率在增大和减小两个方向都有较大的调节范围，活塞调谐器的活塞通常处于行程的中央位置，调谐器活塞从此位置往腔里伸入、腔的磁场区域变小，等效电感变小，谐振频率就会增加；反之，谐振频率就会减小。电容调谐器一般为可动平板式，大多安放在腔体电场较集中处，前后移动平板位置将改变这一区域的电场分布，即改变了腔体的储能及等效电容，从而改变腔的谐振频率，通常平板往腔里伸入愈深，谐振频率减小得就愈多。调谐器除了改变腔的谐振频率外，还会改变加速腔的场分布。 （撰写：罗紫华 审订：王传英）

tiaozhiqi

调制器 modulator 把工频交流电转变为直流高压脉冲的装置，通常由整流回路、充电回路、人工线、放电回路和稳压回路组成，通过脉冲变压器给射频功率管供电。脉冲功率最高可达到几百兆瓦。人工线级数越多，输出脉冲宽度越宽。每当触发信号来临，放电回路中的闸流管点火，构成通路。人工线电容上的高压对负载（脉冲变压器）放电，形成脉冲。脉冲电功率加到射频功率管的阴极，拉出电子注，实现从工频电能到射频电能的转换。衡量调制器性能的主要指标是脉冲平顶度、幅度稳定度、前沿和后沿。后两项指标与闸流管关系密切。目前正在发展固态调制器，不用闸流管作为点火元件，可使性能大大改善，维修也比较方便。

（撰写：罗应雄 审订：王传英）

tingchan de sheshi

停产的设施 stand-by facility 又称停产的核设施。停止易裂变材料生产的核设施，但核材料可能尚未被移走，也未退役。在停产的核设施中有的是处于备用状态，随时可以启动运行，有的则已不可恢复或很难恢复运行，准备退役。

（撰写：金惠民 审订：严叔衡）

tingdui shendu

停堆深度 shut down margin (SDM) 又称停堆裕度。反应堆所有控制毒物全部投入堆芯时所能达到的次临界反应性值。为了保证安全，反应堆应该有足够大的停堆深度，以确保：(1)反应堆在各种运行工况下都可以实现停堆；(2) 可将假想事故的后果控制在允许的限制范围内；(3) 停运反应堆具有足够的次临界度，以防止在停堆情况下意外临界。不同反应堆的停堆深度要求不同。

（撰写：史永谦 审订：罗璋琳 许汉铭）

tongbao

通报 notification 欲进行使人们受到或可能受到辐射照射或者使受辐射照射的人数或可能性增加的某一实践活动的法人，以书面文件形式向审管部门报告该实践活动的目的和计划。在辐射防护和辐射源安全审管中，通报既是有关法人必须履行的一项基本要求，也是他们必须承担的一项基本义务。通报是有关法人要取得批准的第一步。假如该实践或行动伴生的正常照射量不太可能超过审管机构所规定的相关限值的一个很小份额，并且潜在照射的可能性和预计的潜在照射的量以及任何其他危害后果均可以忽略不计，经过审管机构认可，则仅发出通报就可以了。

（撰写：吴德强 审订：华 旦）

tongxing kongzhi churukou kongzhi

通行控制（出入口控制） entrance and exit control 在实体屏障上要设置一个或若干个供人员、器材和车辆通行的专用通行口。这些通行口一般需有警卫人员守护，并都受中央控制室的控制。通行控制要保证授权人员、物资和车辆能畅通出入，并能有效阻止非法人员、物资和车辆出入。通常为了便于管理，人员、物资和车辆的出入口要分开。人员出入口通常用旋转栅栏门；物资进出用气闸门；车辆出入走车辆专用通道，并均需经过检查，防止隐藏物品。通行时需特别的通行证和专门的通行许可。所有通过通行控制口的人员、物资和车辆，均在中央控制室留有记录备查。对平时非经常出入的通行口要加锁，锁、钥匙和密码要严格保护和控制，只有专门授权人员才能接触它们，保管人员要受到专门保护。门锁、钥匙和密码要随机更换。在实体屏障上还应设置紧急情况通行口，要制定特别通行程序，一旦发生紧急情况，如火灾、核事故等，能保证授权的应急处置人员能快速通过。

（撰写：薛伟贤 审订：董柏年）

tongyong ganyu shuiping

通用干预水平 generic intervention level 国际上推荐的、具有一定通用性的干预水平。它代表了一种国际性认同，并已被认为是可大体获得最大净利益的干预水平值。目前，国际上已经推荐了针对紧急防护行动和较长期防护行动的通用干预水平。通用干预水平是根据大多数事故情景和有代表性的条件经计算、分析和优化后得到的，具有一定的通用性、合

表 1 IAEA 等国际组织推荐的对于紧急防护行动的通用干预水平

防护行动	通用干预水平（可防止剂量表示）
隐蔽	10 mSv
撤离	50 mSv
碘预防	100 mGy ①

① 甲状腺的可防止待积吸收剂量。

表2 IAEA 等国际组织推荐的对于临时性避迁和永久性再定居的通用干预水平

防护行动	通用干预水平(可防止剂量表示)
临时性避迁	第一个月平均剂量大于 30 mSv 开始避迁，以后任一月剂量在 10 mSv 以下便可以返回
永久性再定居	寿期内 1 Sv

理性，特别适于那些既无核设施又无详细应急计划的国家采用。但它没有考虑政治的、社会的或心理的因素，也没有考虑特殊的厂址条件（例如大的人口密度）或事故时的特殊环境条件(如恶劣气象条件)。而且它也不能在野外被快速直接测量。因此，通用干预水平的应用也具有一定的局限性，主要是为应急计划和应急准备期间设计的，也可用做实施紧急防护行动(特别是预防性防护行动)的判据。还可做为建立操作干预水平的基础。表 1 中列出了 IAEA 等国际组织推荐的对于紧急防护行动的通用干预水平。表 2 中列出了 IAEA 等国际组织推荐的对于临时性避迁和永久性再定居的通用干预水平。我国正在开展有关建立通用干预水平的方法学研究，且可望很快采用通用干预水平的概念。

（撰写：陈竹舟　审订：施仲齐）

tongyong xingdong shuiping

通用行动水平　generic action level　国际上推荐的在持续性照射或应急照射情况下，用于控制食品的通用的干预水平(见表)，它表示为食物、牛奶、水中的活度浓度（Bq/L 或 Bq/kg)。建立通用行动水平的方法、条件类同于通用干预水平的建立，因此，通用行动水平在具有一定通用性的同时，同样具有一定的局限性，即：其建立没有考虑政治的、社会的及公众心理等因素，也没有考虑特殊的厂址条件和事故时可能出现的特殊情况；而它的应用同样受难于在现场快速测量所限制。

IAEA 等国际组织推荐的用于控制食品的通用行动水平 (Bq/kg)

放射性核素	一般消费用食品	牛奶、婴儿食品和饮水
^{134}Cs, ^{137}Cs, ^{103}Ru, ^{106}Ru, ^{89}Sr	10^3	10^3
^{131}I	10^3	10^2
^{90}Sr	10^2	10^2
^{241}Am, ^{238}Pu, ^{239}Pu, ^{240}Pu, ^{241}Pu	10	1

（撰写：陈竹舟　审订：施仲齐）

tongbu fushe

同步辐射　synchrotron radiation　又称电子同步加速器辐射。相对论性带电粒子（速度接近光速）在电磁场中被加速时，特别是向心加速—偏转时，产生的一种电磁辐射，最先在电子同步加速器上发现，故得此名。由于离子的静止质量比电子大 3 个量级以上，即使在 TeV 级的质子同步加速器中，同步辐射损失依然是不重要的。而对 MeV 级的电子同步加速器，同步辐射已十分显著。同步辐射使粒子在横向和纵向的振荡得到阻尼，并与量子起伏达到平衡态。这也是为什么电子同步加速器中束流易于稳定和束流发射度较小且不依赖于注入束性能的原因。对于给定的轨道半径和束流强度，同步辐射的功率与粒子能量的四次方成正比，这是阻碍电子同步加速器能量提高的主要因素。同步辐射具有宽阔的连续光谱、高度的准直性、优良的时间结构和偏振性等特点，加上其高功率和高耀度的特性，使电子储存环成为一种性能优异的新型强光源而得到广泛应用(参见*同步辐射光源*)。同步辐射又是天体物理中的一种重要辐射机制。

（撰写：张闯　审订：何多慧）

tongbu fushe guangyuan

同步辐射光源　synchrotron radiation light source　利用相对论性电子（或正电子）在磁场中偏转时产生同步辐射的高性能新型强光源。电子同步加速器的出现，特别是电子储存环的发展，推动了同步辐射的广泛应用。同步辐射的早期研究是在电子同步加速器上进行的，有人把它称为第零代光源。第 1 代是在主要用作高能物理实验的正负电子对撞机上的“寄生”光源。北京正负电子对撞机上的同步辐射装置就属于这一类。第 2 代是专门为同步辐射应用而建造的储存环，主要使用偏转磁铁引出的同步光。1990 年建成的束流能量为 800 MeV 的我国合肥同步辐射装置属于第 2 代光源。第 3 代是耀度更高、以插入元件产生光辐射为主的储存环。我国台湾已经建成一台 1.3 GeV 的第 3 代光源。同步辐射光源通常有两个工作能区，一个是真空紫外 / 软 X；另一是硬 X 光光源。为了克服离子俘获效应，提高束流寿命，在储存环中需要装备离子清除电极，有的还采用较难获得的正电子运行。

（撰写：张闯　审订：何多慧）

tongbu huixuan jiasuqi

同步回旋加速器　synchrocyclotron　又称调频回旋加速器或稳相加速器。为克服经典回旋加速器的极限能量的限制而发展起来的回旋式加速器。同步回旋加速器采用调频，使其频率随粒子因相对论效应回旋频率下降而同步下降，以此保持谐振加速条件。它在结构上同经典回旋加速器的主要差别是它在 D 形电极共振回路中使用可变电容器，以实现频率的调变。在调变加速场的频率时，实际上只有某种所谓“同步”粒子准确满足谐振加速条件，其他粒子则不能严格满足。但因自动稳相原理，可以保证同步粒子周围有一群粒子稳定地得到加速。只要非同步粒子的能量以及进入电场时的相位都与同步粒子足够靠近，它们就可以一直保持在同步粒子的周围作稳定的相振荡，并获得与同步粒子相同的平均能量增益。在调变频率的一个周期内，同步回旋加速器只提供一个束流脉冲。

（撰写：陆善埅　审订：关遐令）

tongbu jiasuqi

同步加速器　synchrotron　一种加速高能粒子的回旋谐振式加速器。它有一个大的环形磁场，带电粒子在环形磁场的导引和控制之下沿着接近圆形的轨道回旋运动，穿越沿途设置的一些高频加速腔，从中获取能量。加速过程中，磁场随时间增强，使粒子的轨道半径保持恒定。高频电场的频率则与磁场同步变化，与同粒子的回旋运动保持谐振。由于电、磁场随时间周期变化，加速器在脉冲状态下工作。为了使粒子束约束在狭长的真空室内加速，还需要有足够的聚焦力。同步加速器从聚焦原理上分为弱聚焦同步加速器与强聚焦同步加速器。早期用梯度数值较小的恒定梯度磁场进行聚焦。由于聚焦力较弱，加速室以及整个加速器的体积不得不做得相当大，这就从经济与技术上限制了同步加速器向 10 GeV 以上的能量发展。后来发明了交变梯度的强聚焦方式，有效聚焦力大大超过前者，使加速室的体积大为缩小。同步加速器从粒子种类上分为电子同步加速器、质子同步加速器和重离子同步加速器。

（撰写：陈佳洱　审订：关遐令）

tongbu yinbao zhuangzhi

同步[引爆]装置 synchrofiring device 产生多路电脉冲，同时引爆一些雷管的装置。同步引爆装置只用于核武器，因核爆炸装置上都布有多个电雷管，为了获得内爆聚心波，要求这多个雷管必须同步起爆，只允许亚微秒量级的误差（参见起爆序列），因而对相应的引爆装置必须输出更加准确同步的引爆脉冲，这些脉冲的同步分散性应在纳秒量级。同步引爆装置输出电脉冲参数还必须与雷管起爆的电压和电流相适配。

（撰写：俞大光 审订：王铁铮）

tonghe yinengsu

同核异能素 isomer 见核素。

tongjing gongchendian

同晶共沉淀 isomorphic coprecipitation 在微量组分和常量组分的化学组成和化学构型相似，以及离子半径相近的条件下的共沉淀。例如，$BaCl_2$和$RaCl_2$共沉淀，即是同晶共沉淀。同晶的盐能够以各种不同的比例构成混晶，对微量组分没有限制。如果纯的常量组分和微量组分的稳定结构不同，可是微量组分在一定的条件下能够形成一种介稳定的变体，以适应常量组分的结构，此时也能够形成真正的混晶。这种混晶现象就是同二晶现象。同二晶共沉淀是同晶共沉淀的个别情况。同晶和同二晶现象可以用于放射性核素的分离。同晶共沉淀对放射化学领域的重大发现（如钋和镭的发现；从铀的核反应产物中分离出钡，发现了裂变现象等）起过重要作用。

（撰写：罗文宗 审订：崔安智）

tongliang yiweisu

同量异位素 isobar 见核素。

tongweisu

同位素 isotope 见核素。

tongweisu fenli

同位素分离 isotope separation 使同位素的丰度产生变化的过程。一种元素的不同同位素可以在核性质、物理特性、化学特性上存在很大差别。二次世界大战时期，铀同位素分离的研究得到了迅速的发展，20世纪四五十年代形成了大规模的铀同位素分离工业。随着科学技术的发展，稳定同位素得到了愈来愈广泛的应用（参见稳定同位素应用）。目前，最大规模的同位素分离仍然是铀同位素分离。但是，非铀同位素的分离（又称稳定同位素分离）也有了很大的发展。然而，不少天然元素具有三种或三种以上同位素。这样，不论从理论上还是实际工作中都增加了难度。特别是为了获得高丰度的处于中间质量的（即非边缘的）同位素是很困难的。同位素分离的方法有很多。例如，气体扩散法、离心分离法、激光分离法、电磁分离法、热扩散法、离子回旋法、精馏法、化学交换法等。至于具体用什么分离方法要根据被分离的同位素进行具体分析。 （撰写：应纯同 审订：刘广钧）

tongweisu fenliyinzi

同位素分离因子 isotope separation factor 表征分离单元分离效果的特征量，表示某一分离效应所产生同位素相对丰度的变化情况。流入分离单元的一股流称供料，其丰度为C_F。流出的有两股流，其中一股流的丰度增加称精料（或产品），其丰度为C_P，根据物质守恒原理，必然另一股流丰度减小，称贫料（或尾料），其丰度为C_W。现引入相对丰度R，定义$R=C/(1-C)$，即R等于目标同位素丰度C与混合物中余下各组分的丰度$1-C$之比。

（1）定义：精料相对丰度R_P与供料相对丰度R_F之比为浓化分离因子α

$$\alpha=\frac{R_P}{R_F}=\frac{C_P/(1-C_P)}{C_F/(1-C_F)}$$

（2）定义：供料与贫料相对丰度之比为贫化分离因子β

$$\beta=\frac{R_F}{R_W}=\frac{C_F/(1-C_F)}{C_W/(1-C_W)}$$

（3）定义：精料与贫料相对丰度之比为全分离因子q

$$q=\frac{R_P}{R_W}=\frac{C_P/(1-C_P)}{C_W/(1-C_W)}=\alpha\cdot\beta$$

只要有分离效应，分离系数q, α, β都是大于1的数。

（撰写：蒋同远 审订：刘广钧）

tongweisu jiaohuan biaoji

同位素交换标记 isotope exchange labelling 用同位素交换反应进行的标记。它是利用两种不同分子中同一元素的同位素交换过程，将标记原子引入到欲标记的化合物分子上。同位素交换标记方法简便，对复杂或难以用化学合成法制备的标记化合物，具有实际意义。同位素交换标记的缺点是标记位置不易确定，副产物较多，分离纯化困难。

（撰写：卢玉楷 审订：吕延晓）

tongweisu weiyi

同位素位移 isotope shift 同一元素的同位素原子或分子之间在吸收光谱上存在的微小差别。它是由同位素的中子数不同造成的，是激光分离同位素的基础。同位素位移随核子数的变化呈两边大中间小的特征。对轻同位素的同位素位移主要由质量差引起，其相对位移可以表示为

$$\frac{\Delta\nu}{\nu}=\frac{(M_1-M_2)m_e}{M_1M_2}$$

式中 M_1, M_2, m_e分别为同位素元素和电子的质量。而对于重同位素，这种位移是由于中子数不同引起核电荷分布不同，即核体积效应造成的。核电荷分布的不同引起核外电子轨道的微小差别，其跃迁能级所对应的吸收波长就产生了微小差别，即同位素位移。 （撰写：张志忠 审订：应纯同）

tongweisu xishifa

同位素稀释法 isotope dilution method 在待测物质中加入同位素示踪剂，根据同位素在混合（稀释）前后比例变化测定物质含量的一种分析方法。同位素稀释法可分为放射性同位素稀释法与稳定同位素稀释法。前者以放射性同位素为示踪剂，根据混合前后示踪剂放射性比活度的变化测定物质含量；后者以富集的稳定同位素作为示踪剂，根据质谱仪确定示踪剂混合前后丰度的变化分析物质含量。同位素稀释法最大的优点是不需对所测物质进行定量分离，只需对部分纯物质进行比活度（或丰度）测量即可，因此同位素稀释法（特别是放射性同位素稀释法）大多用于各种复杂体系物质的测定。例如，医学中放射性免疫分析，可检测人体体液中的微量生物活性物质，最小检出量达到$10^{-9}\sim10^{-12}$ g。

（撰写：张培信 审订：吕延晓）

tongweisu yu fushe jishu

同位素与辐射技术 isotope and radiation technology 以核科学为理论基础，研究应用同位素和电离辐射的特性与行为规律、以及电离辐射同物质相互作用产生的各种效应的一门综合性现代技术。同位素与辐射技术的主要内容，包括稳定同位素、放射性同位素及其制品的制备，电离辐射装置的制作，以及这些制品和装置在工业、农业、医学、资源、环境、军事、科研、乃至人民日常生活等方面的应用。同位素与辐射技术是核科学技术的重要组成部分。该技术呈现的实用功能是多方面的，如信息获取（同位素示踪、放射性同位素仪表、核分析应用等），物质加工与改性（辐射加工、突变育种、癌症治疗等），特种能源供应（氚灯、放射性同位素热源与电源等）。其中一些开发成果正向技术产业化方向转移，确立了自身高新技术的产业地位；另一些开发成果正成为实现传统产业技术改造的一种先进手段。同位素与辐射技术目前还是一个发展中的概念。随着电离辐射内涵的延伸与非核高新技术的同步发展，一些量子束技术（如同步辐射、正电子、中子、离子、介子、μ子等）的内容，正逐渐纳入同位素与辐射技术体系。 （撰写：吕延晓 审订：卢玉楷）

tongweixuan xiangsitai

同位旋相似态 isobaric analogy states 具有相同质量数A，而有不同电荷数Z（即同量异位素）的各原子核中具有相同同位旋T的最低的能态。同位旋相似态具有相同的其他量子数，包括自旋I和宇称π等。在实验上观察到的同位旋相似态，一般都在原子核的低激发态能区。例如A=21的同位旋相似态有T=1/2：^{21}Ne 基态，^{21}Na 基态；T=3/2：^{21}F 基态，^{21}Ne (8.859 MeV), ^{21}Na (8.973 MeV), ^{21}Mg 基态。同位旋相似态的存在是核力与中子和质子间的电荷无关的实验证据。这种对称性可以推广到含有超荷等更广泛的情形。破坏这种简并性的因素主要为质子间的库仑相互作用以及质子、中子质量差等。 （撰写：张建玮 审订：叶沿林）

tongzhongzisu

同中子素 isotone 见核素。

tongzhou faladitong

同轴法拉第筒 coaxial Faraday cup 带电粒子束流脉冲波形与强度测量装置。为保证测量的频率响应特性有足够的带宽，法拉第筒必须采用同轴结构，以内导体接收束流，内外导体间用绝缘子支撑。束流的入射方式多数采用端入射，但也可采用边入射。二次电子发射效应与位移电流效应对同轴法拉第筒的上升时间有重要影响。对高速粒子束，位移电流效应较弱，可采用筒形二次电子抑制电极来抑制二次电子发射的影响。对低速粒子束，则需在内导体接收面之前加栅网屏蔽位移电流。此时在栅网上加负偏压可抑制二次电子，亦可在栅网上加正偏压收集二次电子以提高测量灵敏度，即为增益型运行。两种运行方式均可测量束流脉冲的波形与脉冲宽度，但测量束流脉冲的强度则须使用抑制型运行方式。同轴法拉第筒束流接收部分的同轴结构径向尺寸一般较大，与尾部的同轴插头座之间还需安排锥形同轴过渡节。一般情况下用于阻拦式测量，亦可做成插入式结构。同轴法拉第筒的上升时间可以做到 0.2 ns 左右，可用于测量窄到纳秒和亚纳秒的粒子束流脉冲。 （撰写：郭之虞 审订：关遐令）

tongyouyunmu

铜铀云母 torbernite 含水的铜铀酰磷酸盐，化学式为：$Cu(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 8\sim12\ H_2O$，该矿物发现于捷克雅希莫夫地区。四方晶系，晶体常沿{001}呈板状。集合体呈鳞片状、晶簇或致密的皮壳。颜色为草绿色、偶尔为苹果绿、金丝雀绿。半金刚光泽、玻璃光泽。半透明至透明。沿{001}解理完全，沿{010}、{100}清楚。性脆，硬度2～2.5，相对密度3.22。在紫外光照射下不发荧光。一轴晶负光性，有时为异常二轴晶。折光率 N_e 或 N_p=1.581～1.582，N_m=1.592，N_o 或 N_g=1.590～1.592。光轴角 $2V$ 一般为 0～10°，个别情况下高达65°，色散 $r > v$。铜铀云母形成于氧化带的深部，与钙铀云母、翠砷铜铀矿等共生。（撰写：赵凤民 审订：胡绍康）

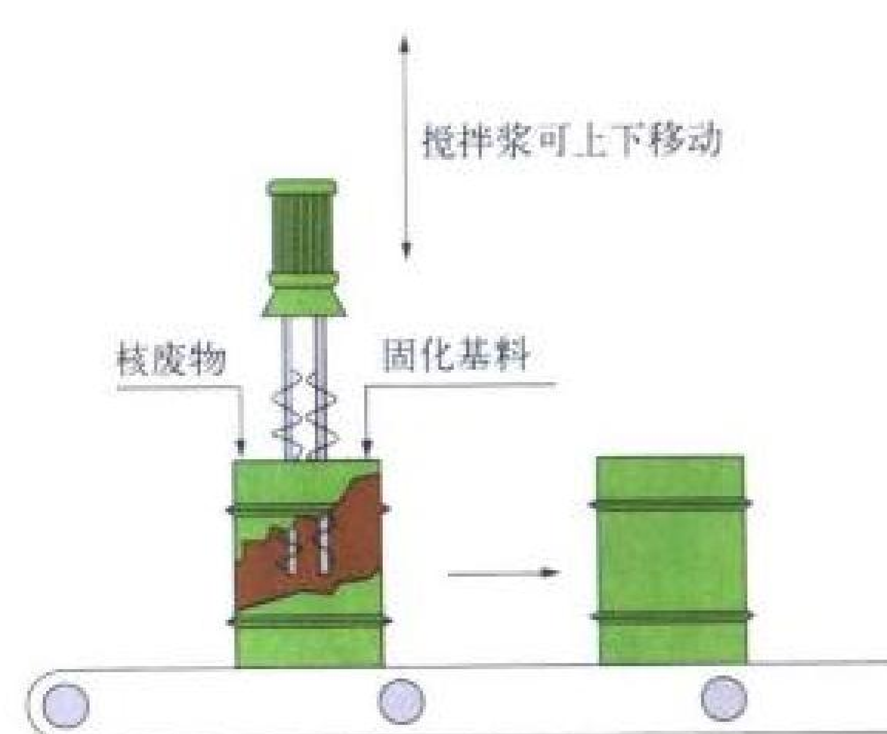


铜铀云母晶簇

图出处：郭克毅、周正.矿物珍品.北京：地质出版社,1996.152

tongnei guhua

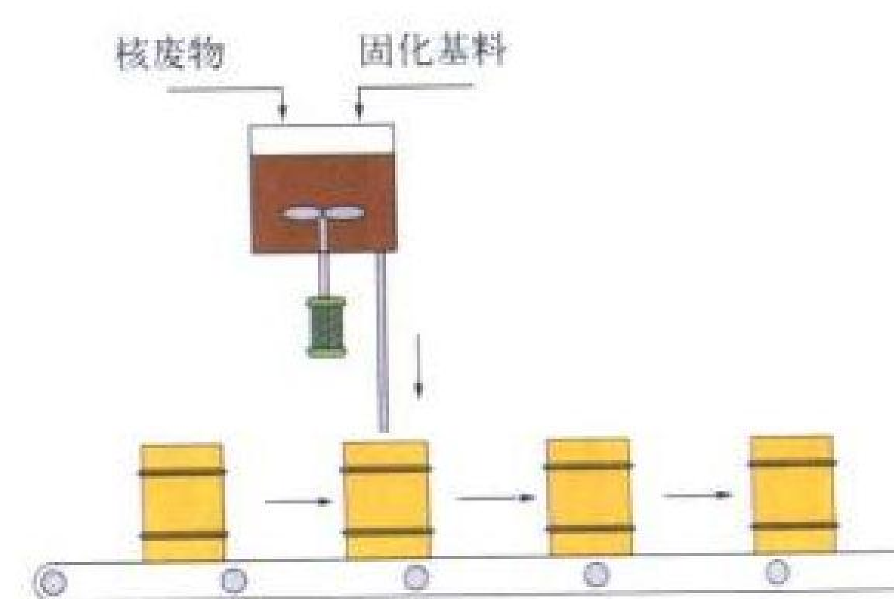
桶内固化 in-drum solidification 在桶内加入放射性废物和固化基料进行搅拌混合和固化的过程。通常为水泥固化的一种工艺过程。桶内固化是废物与固化基料的搅拌和混合在废物包装桶内完成的固化工艺（见图）。此工艺无须设置专门的搅拌槽，因此工艺设备简单，但要求搅拌均匀，无死角，废物装载量大，不飞溅出桶外，搅拌桨通常反复使用，行星双螺杆搅拌器能较好满足上述要求。但也有只用一次就丢弃在固化桶内作废物处理的，这种方法虽然免去了搅拌桨的清洗，但是搅拌桨一次性使用，很不经济。此外还有不用搅拌桨，而在桶内放入一个捣动物，通过废物桶的滚动或振动达到混合的目的，这种桶内固化工艺更简单，但只适用于放射性水平比较低的废物和对固化体性能要求低的场合，且安全性较差。 （撰写：张振涛 审订：罗上庚）



桶内固化示意图

tongwai guhua

桶外固化 out-drum solidification 在桶外将废物和固化基料搅拌混合均匀后注入桶内固化的过程。为水泥固化的一种工艺过程。桶外固化也叫在线搅拌固化。废物与固化基料在专门设计的混合搅拌装置内混合均匀后，连续往桶内浇注。搅拌装置一般为螺旋输送器、



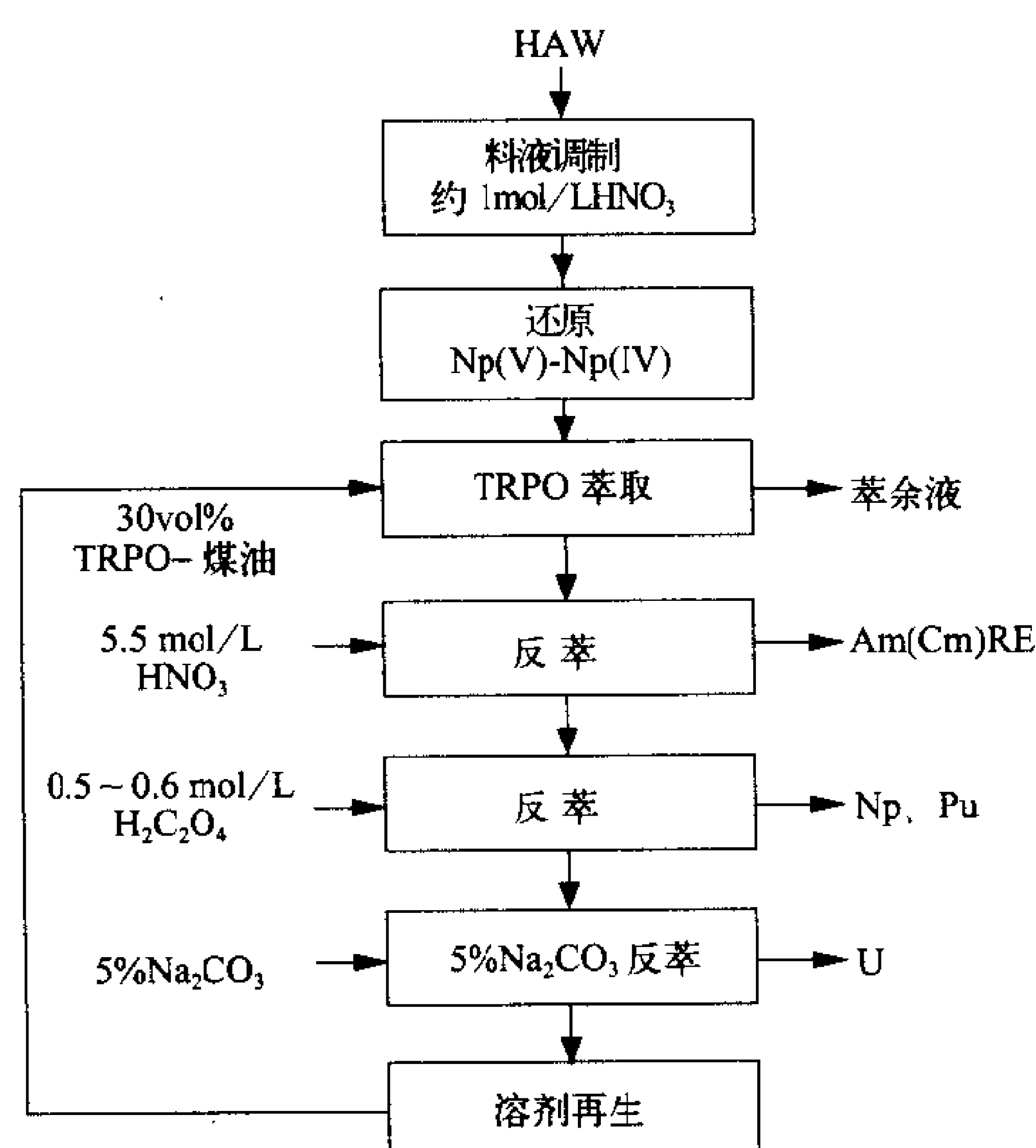
桶外固化示意图

高速旋转混合器等(见图)。与桶内固化相比，其最大优点是处理能力大，效率高，固化体均匀，但工艺一般较复杂，设备比较多，每批操作后要进行清洗，而且产生较多的二次废液，对厂房设计和人员操作都有较高的要求。

(撰写：张振涛　审订：罗上庚)

TRPO liucheng

TRPO 流程　TRPO process　一种从高放废液分离锕系元素的溶剂萃取流程，由清华大学提出。可用于从高放废液中回收镎、镅及 TBP 萃取后留在萃余液中的少量铀和钚，流程如图所示。TRPO是一种三烷基氧化膦混合物，化学式为 RR′R″PO，其中 R，R′和 R″ 为 C_6H_{13}, C_7H_{15} 或 C_8H_{17}。它易溶于煤油和其他稀释剂，化学稳定性和辐照稳定性均好，适合用作高放射性条件下的萃取剂，采用真实高放废液为料液的 TRPO 流程热实验表明，铀、镎、钚、镅的萃取率可达 99.9 %以上。该流程的优点是：(1) TRPO 的萃取容



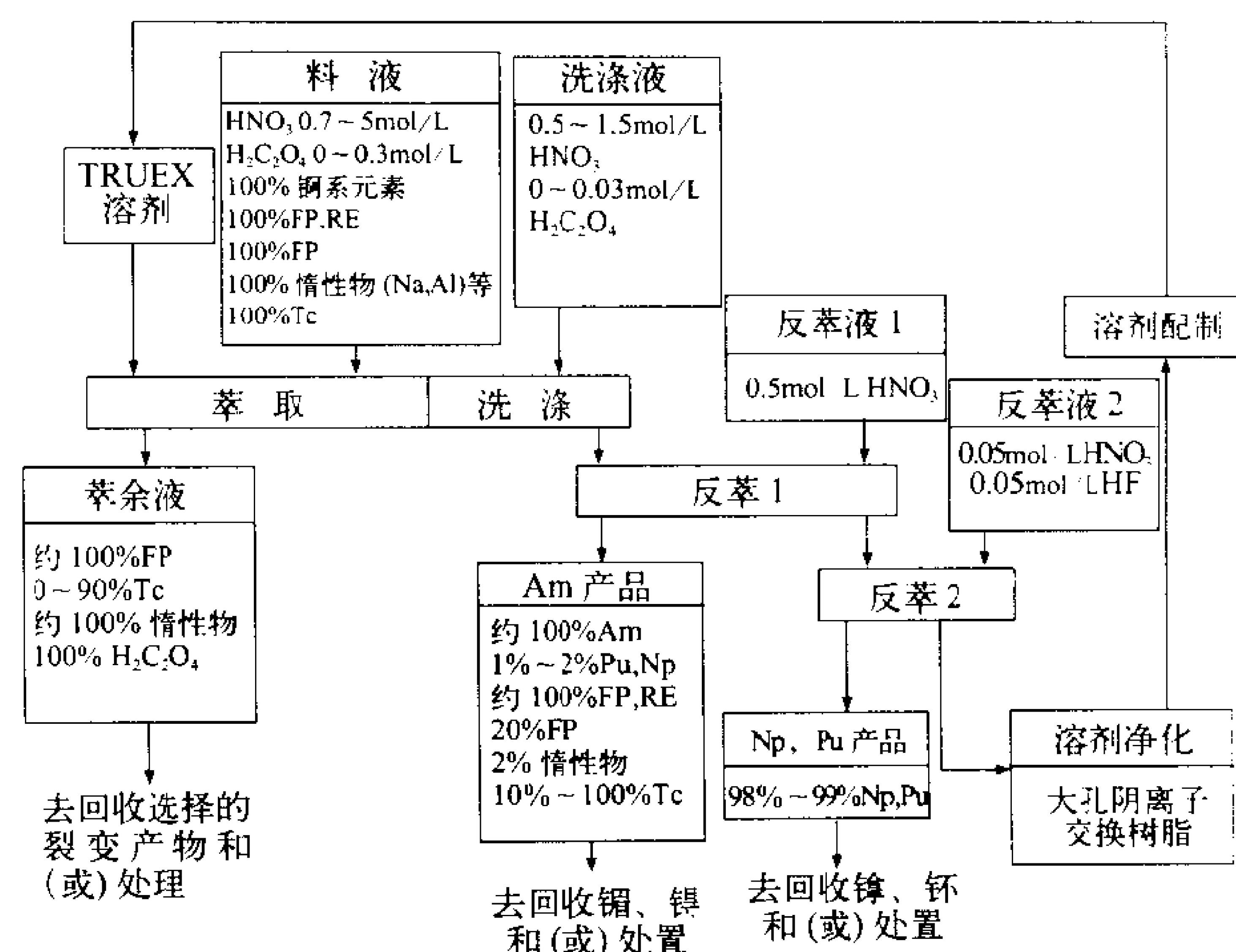
TRPO 流程示意图

量比美国的 CMPO-TBP 萃取体系高几倍；(2) TRPO 萃取剂的辐照稳定性好，优于 HDEHP 和 TBP；(3) 产品物流相互交叉污染小。不足之处是需将高放废液脱硝或稀释到 1 mol/L HNO_3 左右。

(撰写：焦荣洲　审订：林漳基)

TRUEX liucheng

TRUEX 流程　TRUEX process　一种从高放废液分离锕系元素的溶剂萃取流程(见图)。该流程采用双官能团萃取剂辛基苯基 N, N- 二异丁基氨基甲酰甲基氧化膦 (CMPO)，其分子式为 C_8H_{17},$C_6H_5POCH_2CON$ $(iC_4H_9)_2$。萃取剂为 0.2 mol/L CMPO-1.2～1.4 mol/L TBP- 异链烷烃稀释剂。真实高放废液热实验表明,高放废液中锕系元素总的去除率可达到 99.97 %，废液的 α 活度由 457 nCi/g 减少到 0.12 nCi/g，远低于非 α 废物 10 nCi/g 的标准。该流程的优点为在很宽的硝酸浓度范围内 (1～6 mol/L) 可有效地萃取锕系元素。不足之处是：(1) 为防止三相形成，需在 CMPO 中加入 TBP 作为改性剂，使萃取体系比较复杂，萃取容量仍较低；(2) 产品物流存在一定的交叉污染；(3) 要用 HF 反萃取镎、钚，增加了工艺设备的腐蚀。



TRUEX 流程示意图

(撰写：焦荣洲　审订：林漳基)

tuceng jishu

涂层技术　coating　靶丸外表面涂敷有机或金属材料的球面镀膜技术。低 Z 塑料的涂层厚度是 1～100 μm；高 Z 金属涂层厚度为 0.1～5 μm。厚涂层表面粗糙度小于厚度的 0.1 %；厚度的非均匀性必须控制在 1% 以下。在有机涂层中，金属元素的掺杂浓度一般控制在 1%～4% 的范围内。涂层通常在燃料气体充入后进行，为防止泄漏，必须在低温环境下进行，且必须处于悬浮转动状态。先后发明了机械反弹悬浮(又叫振动悬浮)、分子束悬浮技术，这些技术与低温等离子体聚合、气相热解、激光诱导化学气相沉积、磁控溅射等镀膜方式相结合，构成了惯性约束聚变靶丸的特殊涂层技术。此外，还研究了密度呈线性梯度分布的球面涂层技术。

(撰写：唐永建　审订：江文勉)

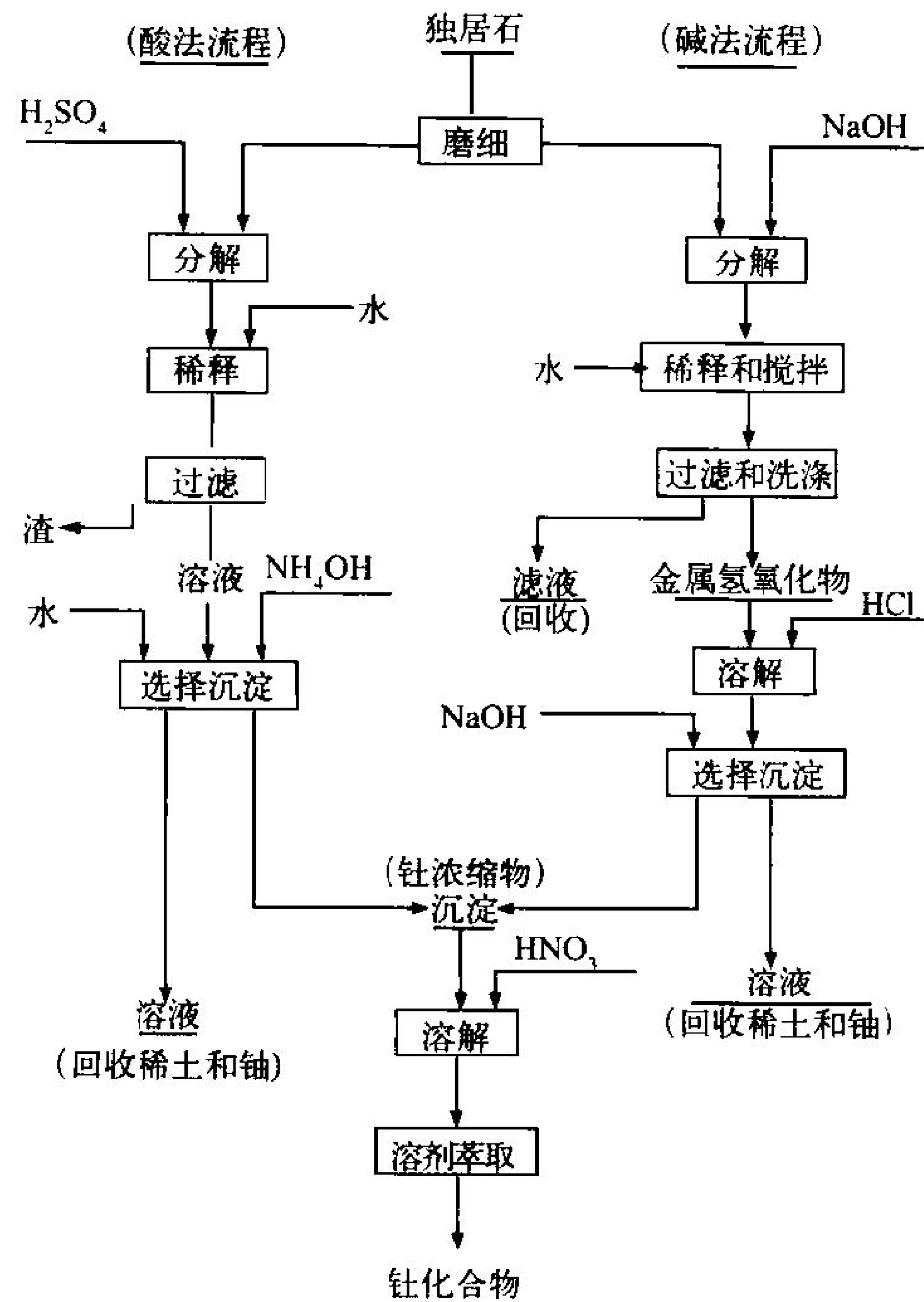
tu

钍　thorium　III_b 族锕系放射性元素，符号 Th，原子序数 90。钍有 6 种天然同位素 (^{227}Th,^{228}Th,^{230}Th～^{232}Th,^{234}Th) 和 19 种人工同位素，其中最重要的是 ^{232}Th。它是一种可转换核素，俘获中子后经两级 β 衰变生成易裂变核素 ^{233}U。钍在熔点 2028 K 以下有两种相结构：α 相 (< 1618 K，面心立方，室温密度为 11.72 g/cm^3)；β 相 (1618 K～熔点，体心立方)。因钍晶体结构呈各向同性，易于进行冲压、锻压、轧制加工，并具有良好的辐照稳定性。钍原子的电子构型为(Rn) $5f^06d^27s^2$，氧化态为 +4，+3。钍的化学性质活泼，在空气中逐渐变黑。在氧中缓慢生成氧化膜，粉末状钍在空气中能自燃，但对水有抗蚀性。与多种元素生成化合物，或形成合金。金属钍可溶解于盐酸和王水，只微溶于硝酸、硫酸或氢氟酸中。从含钍溶液中，可以沉淀出溶解度小的氢氧化钍、过氧化钍、草酸钍和四氟化钍等。在酸性介质中，钍能被磷酸三丁酯 (TBP)、伯胺 (RNH_2)、三辛基氧膦 (TOPO) 等多种有机萃取剂萃取，这是提取和纯化钍的重要方法。因 ^{233}U 的增殖比较大，故采用 ^{233}U 和天然钍的混合氧化物或配制 Th-^{233}U,Th-^{239}Pu 及 Th-^{239}Pu-U,Th-^{239}Pu-U-Zr 等合金作为高温气冷堆或重水堆的核燃料便可获得 ^{233}U 的增殖。

(撰写：李文埮　审订：张忠岳　崔安智)

tu de tiqu

钍的提取 extraction of thorium 从含钍矿石或其他含钍原料制取钍化合物的冶金过程。由矿石分解、钍化学浓缩物制备和钍精制两大步骤组成。含钍矿石用酸或碱分解，转化，再经分离、富集得到含40%～70% ThO_2 的钍浓缩物，包括钍的氢氧化物、碱式盐、磷酸盐等。然后用溶剂萃取法或草酸盐沉淀法，进一步精制钍浓缩物，制得纯度在 99 %以上的硝酸钍（或草酸钍等）。萃取通常在箱式混合澄清器或脉冲筛板塔内进行。钍的主要原料是独居石，其次是含钍铀矿。从独居石提取钍化合物有酸法和碱法流程（见图）。硝酸钍和草酸钍主要用于生产氧化钍或氟化钍，作为制取金属钍的原料。



典型的独居石提取钍化合物的原则流程

（撰写：关自斌 审订：程光荣）

tushi

钍石 thorite 钍的硅酸盐，化学式为 $Th[SiO_4]$。富含铀的钍石称铀钍石，其铀含量一般为：UO_2 为 7.67 %～11.5 %，UO_3 为 0～9.46 %。四方晶系，晶体呈双锥状、柱状；集合体呈粒状、块状。颜色为浅黄色、橙黄色、浅褐黑色、浅红褐色。玻璃光泽或树脂光泽，不透明到半透明。解理沿{110}完全。贝壳状断口到参差状断口。性脆。硬度 4.5。相对密度 4.1～6.7。一轴晶正光性。折光率：N_o=1.818～1.825，N_e=1.839～1.840。钍石易变生而成均质。钍石产于正长岩、花岗伟晶岩中，与锆石、独居石、榍石等共生。

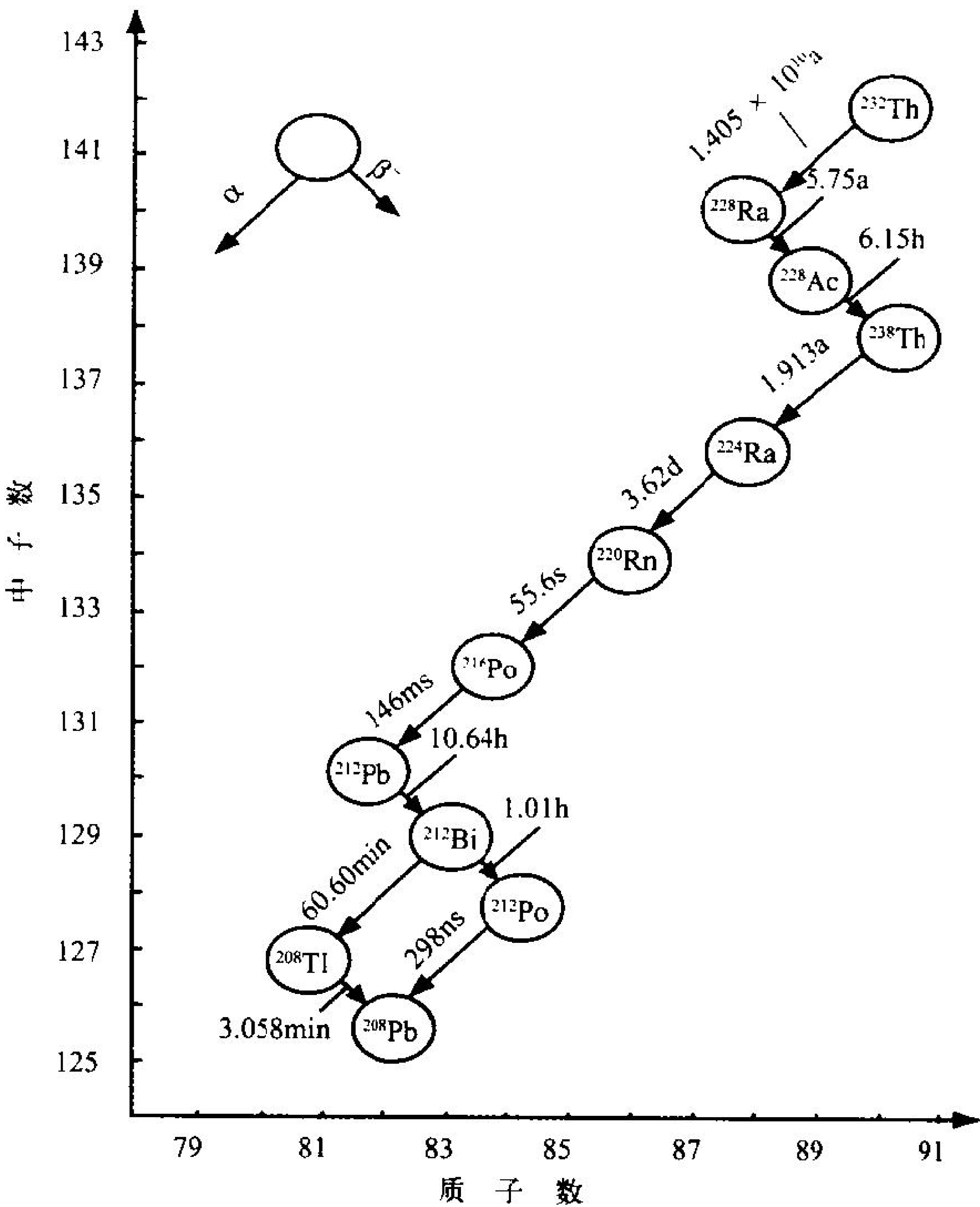


铀钍石的柱状晶体

（撰写：赵凤民 审订：胡绍康）

tuxi

钍系 thorium series 又称 4*n* 系。从 ^{232}Th 到 ^{208}Pb，质量数按 4*n*（*n* 为正整数）规律变化的天然放射性衰变系。钍系的衰变系如图所示。

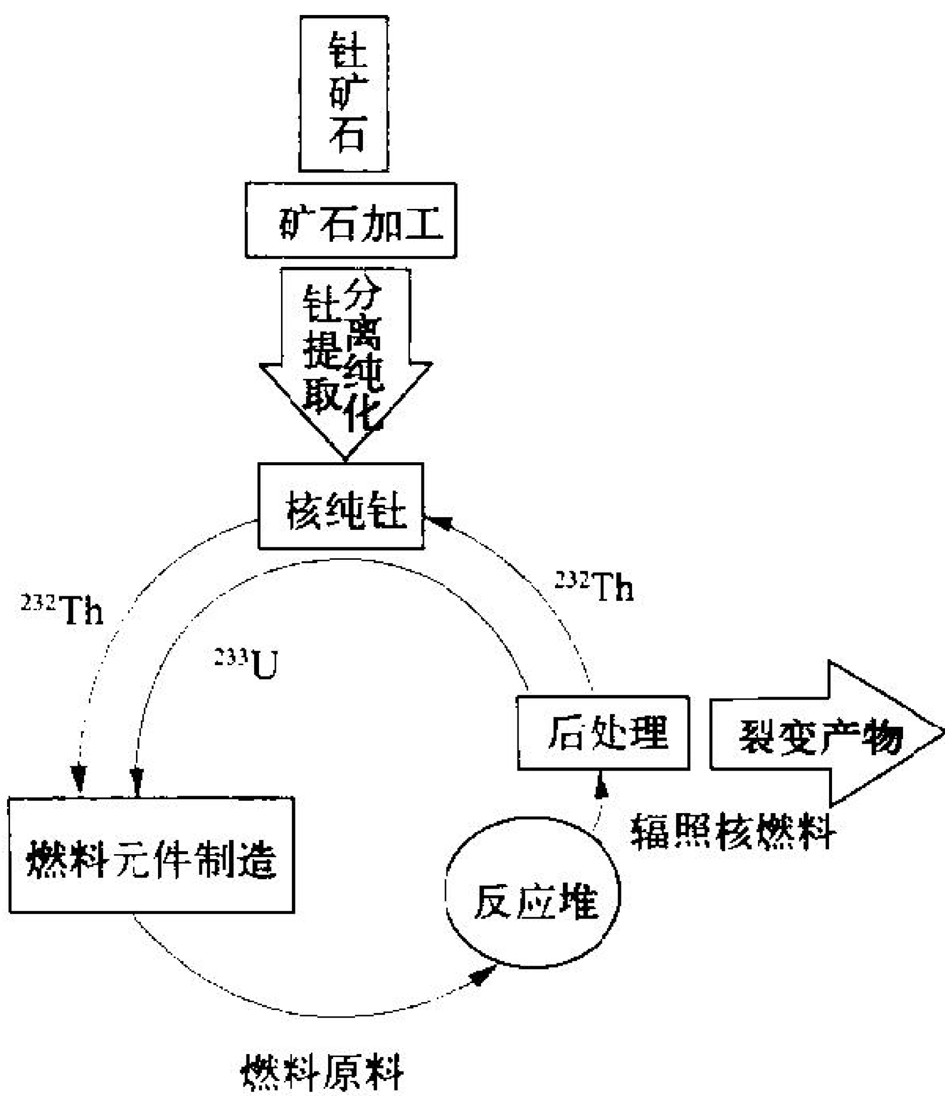


钍系衰变系图

（撰写：张丕禄 审订：郭景儒）

tu you heranliao xunhuan

钍—铀核燃料循环 thorium–uranium nuclear fuel cycle 又称钍基核燃料循环 (thorium-based fuel cycle)，^{232}Th 与 ^{232}U 构成的核燃料循环。该循环以天然钍 (^{232}Th) 为基础，^{233}U 是 ^{232}Th 吸收中子后形成的。钍—铀核燃料循环要先用 ^{235}U 或 ^{239}Pu 启动，逐步过渡到 ^{232}Th–^{233}U 循环。包括：(1) 钍矿石加工，钍的提取、分离和纯化，得到核纯硝酸钍，并转型为核纯二氧化钍；(2) 燃料元件制造；(3) 燃料元件在核反应堆中使用；(4) 钍基核燃料后处理。辐照过的核燃料经过首端处理后溶解，而后用梭雷克斯流程分离回收铀和钍，再制成元件进行复用。



Th–U 核燃料循环示意图

它是铀钚核燃料循环以外的另一种核燃料循环（见图），可以利用天然钍资源，废物中次锕系元素较少。但研究开发不够，目前世界上尚未建成 Th–U 核燃料循环。

（撰写：马栩泉　审订：林漳基）

tuancushu

团簇束 cluster beam 以大体一致的速度沿着同一方向运动的团簇粒子流。团簇是原子、分子或离子团簇的总称。它是由2～10^5个原子、分子或离子通过物理或化学结合力组成的、性质依赖于组分和所包含的原子数目、相对稳定的微观和亚微观聚集体。团簇的许多性质不同于原子、分子，不同于同组分构成的固体或液体。它的奇特物性及其应用前景已引起广泛重视，成为众多学科交叉研究的热点。用以产生团簇（束）的装置称为团簇源。目前已有超声喷嘴型、磁控溅射或重离子溅射型、电子束或激光束蒸发型、激光烧蚀型等多种团簇源。团簇离子能量也是团簇束的一项重要指标。由于团簇离子的荷质比小，空间电荷效应小，有望获得具有高亮度、高强度的团簇束。（撰写：赵渭江　审订：关遐令）

tuice youziyuan

推测铀资源 speculative uranium resources 估算的附加铀资源-Ⅱ类的附加铀资源，是一种主要以间接判据和地质外推为基础而估算的铀资源，它存在于可用现有勘探技术发现的矿床中。该类铀资源中所设想的矿床位置可大致地认定在某一给定区内或地质走向内，因而其存在及规模具有明显的推测性质。（撰写：胡绍康　审订：赵凤民）

tuiyi

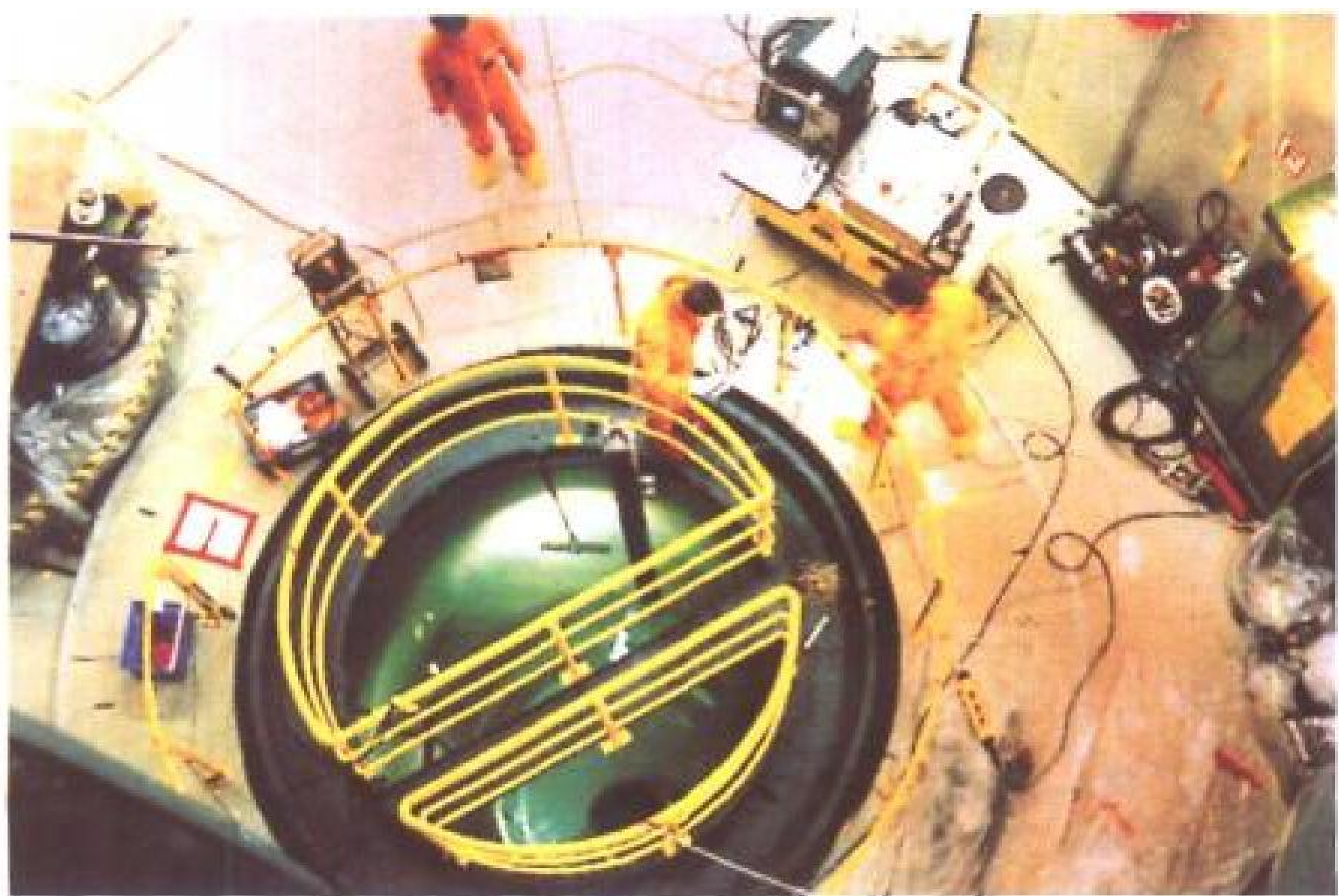
退役 decommissioning 核设施使用期满或因其他原因停止服役后，为了充分考虑工作人员和公众的健康与安全及环境保护而采取的行动。退役的最终目的是实现场址不受限制的开放和使用。核设施退役有立即拆除、延缓拆除、就地掩埋等方式。

（1）反应堆退役后封存适当时间可降低辐射水平，采取延缓拆除较有利。

（2）核燃料水冶厂、精制厂、富集厂、元件制造厂等核燃料循环前段工厂及乏燃料后处理厂采取立即拆除较为有利。

（3）铀矿山、铀尾矿库退役一般采取覆土植被，固坝阻氡等措施。

核设施退役涉及去除放射性物料、放射性废物和其他有害物质，使核设施可以开放，不对人类健康和环境构成危险。退役工程可能分阶段进行（如大型反应堆退役），也可能一步完成。退役工程包括源项调查、去污、切割解体、废物处理



德国卡尔研究堆在实施退役

和处置、安全分析和环境影响评价等。对于操作人员的培训、辐射监测和防护、质量保证和质量控制以及必要的应急准备等都是需要的。此外，退役必须要有充分的资源准备。现在世界上早期建设的一些核设施，包括斯鲁厄研究中心的一些核电厂和后处理厂，已进入退役阶段。我国青海核基地经过环境整治和通过国家验收，已成功地退役还牧。

（撰写：罗上庚　王秀清　审订：潘自强　俞尔俊）

tuiyi de hesheshi

退役的核设施 decommissioned facility 其中使用的不可或缺的设备或结构物已被拆除，或不能再运行，以致不能用来贮存、操作、加工和利用核材料的装置或场所。

（撰写：金惠民　审订：严叔衡）

tuiyi jieduan

退役阶段 decommissioning phases 从持续的时间上对退役活动所作的划分。除小型核设施或装置关闭后可立即拆除外，大中型核设施的退役过程可能要持续数年、数十年甚至上百年。因此有必要对退役的全过程划分成若干阶段，明确每个阶段完成的目标和确定各阶段的步骤及任务，以便于退役活动的实施和管理。不同的核设施或装置应有不同的阶段划分和实现的目标，如大型核设施，我国目前倾向于分为去污、拆除和解体、环境整治和有限制或无限制开放等若干阶段。它们涉及到的主要内容分别为：污染系统和设备的去污，拆除与退役无关的辅助设施；拆除、解体退役建筑物内部的系统和设备（反应堆堆芯除外）；拆除全部建筑物，对周围环境进行整治，实现场址有限制或无限制的开放。各阶段均要对产生的废物进行处理和处置。在退役过程中可用退役深度来衡量退役工作实际进展的情况，即在多长的时间内完成了多少退役工作，其中包括目标和内容等。

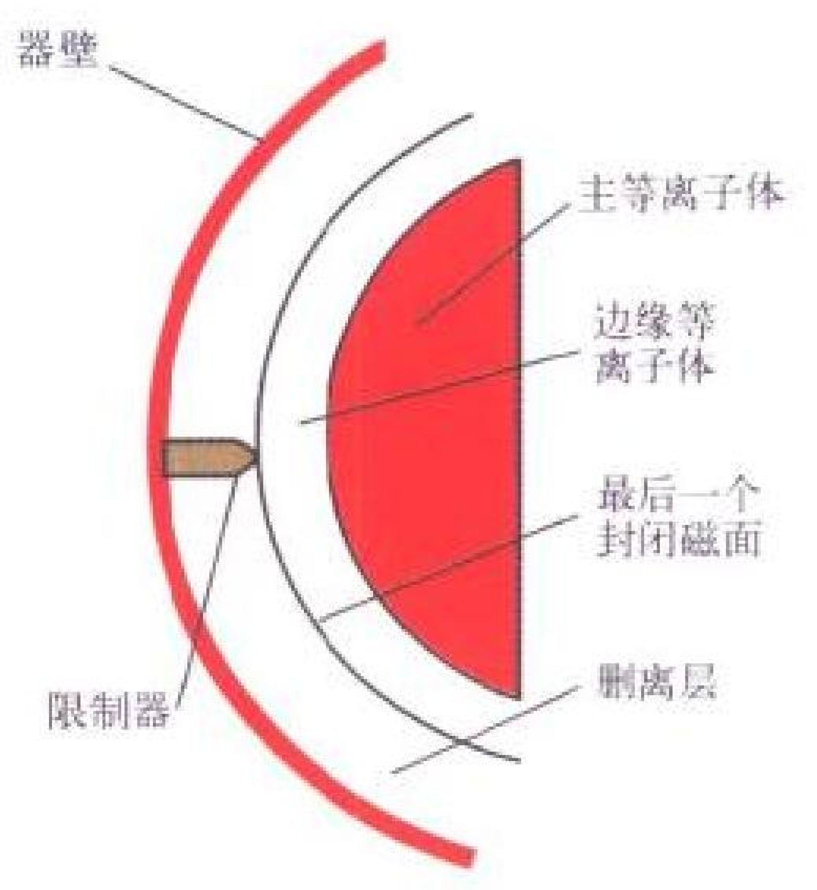
（撰写：王显德　审订：孙东辉）

tuiyi quwu

退役去污 decontamination in decommissioning 对处于退役状态的受污染系统、部件和设备等的去污过程。退役去污的目的是：（1）减少核设施中残留的放射性量和潜在的放射性物质的释放量；（2）有利于系统、设备的拆除和设备、材料的回收利用；（3）降低工作人员受照剂量；（4）减少送去处置的含放射性物质的体积；（5）便于场地、设施恢复到有限制或无限制的开放使用。退役去污不必顾忌影响基体材料的完整性，因这些部件或系统原则上不再使用。（撰写：王显德　审订：孙东辉）

tuokamake bianyuan dengliziti

托卡马克边缘等离子体 boundary plasma in Tokamak 托卡马克中主等离子体与最后一个封闭磁面之间的等离子体。限制器的前缘限定了一个磁面，叫做最后一个封闭磁面，在它的后方，限制器的阴影区叫做删离层，磁面不再闭合。在最后封闭磁面的前方，是边缘区和等离子体参数逐渐增高的主等

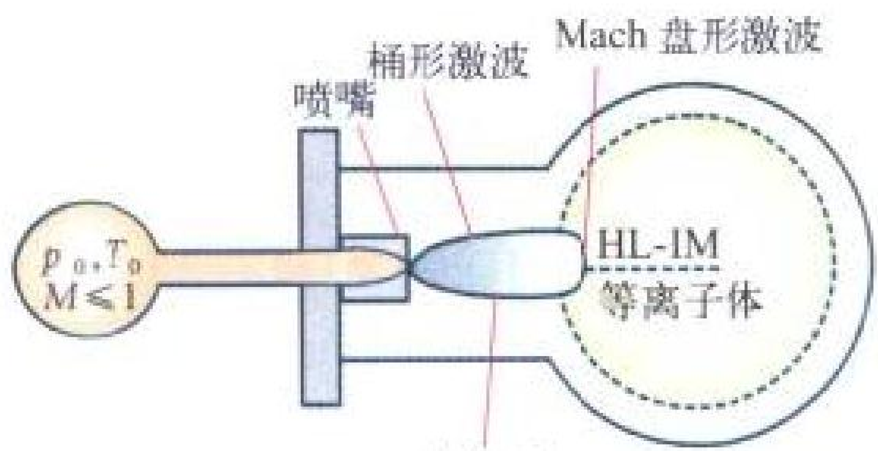


离子体区（见图）。删离层中功率流不大，其中的物体是安全的。原则上，由于托卡马克磁力线的剪切，很小的限制器就可以限定最后一个封闭磁面的位置。边缘等离子体行为对主等离子体有重要影响，除了杂质之外还有工质气体再循环，它直接影响托卡马克的等离子体参数可控制性。

（撰写：钱尚介　审订：黄　林）

tuokamake chaosheng fenzishu zhuru

托卡马克超声分子束注入 supersonic molecular beam injection for Tokamak　一种新型的气体加料方法，1992 年我国在核工业西南物理研究院试验成功，也用于等离子体物理研究所 HT-7 超导托卡马克上。一定压强和温度 (p_0, t_0) 的气体经拉伐尔喷嘴喷射，在气体出口附近经扇形膨胀。高压气体向出口处流动，通道的横截面缩小并由压力差 p_0-p_b 加速，达到平衡时真空本底气压和温度分别为 p_b 和 T_b。随后进入寂静区，并形成超声束流，此区域长度 X_M 可用喉部直径 d 量度：$X_M/d = 0.67\ (p_0/p_b)^{1/2}$（见图）。超声分子束注入的加料粒子能高效地、更深入地注入等离子体，电子密度上升率 dn_e/dt 可比常规脉冲送气高 2～3 倍，使密度分布峰化，容易达到较高的高密度极限。这项技术为改善等离子体约束、控制温度剖面分布提供了新的手段。分子束技术可以制作超声分子团簇，形成直径为 5 nm 的微型弹丸，适合带偏滤器的大型托卡马克加料的需要。

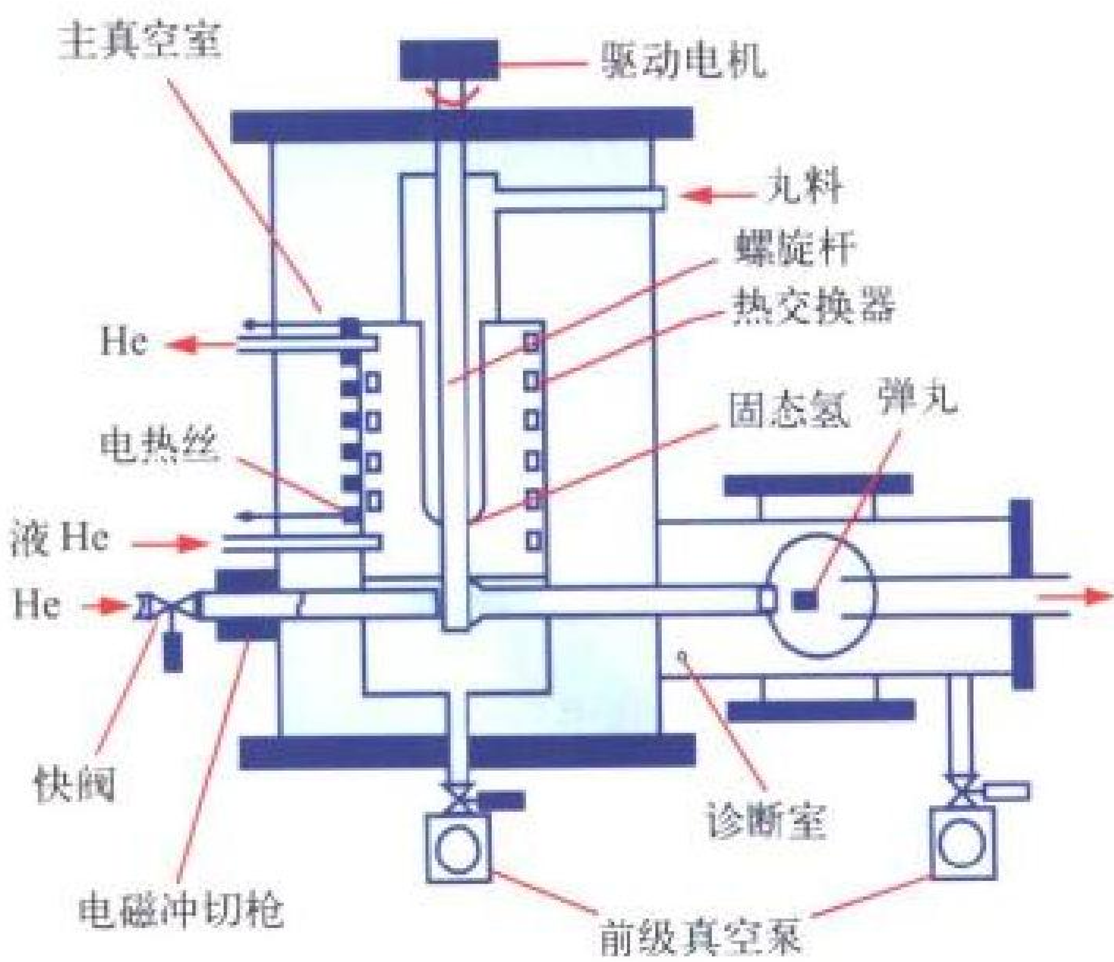


超声分子束注入示意图

（撰写：姚良骅　审订：钱尚介）

tuokamake danwan zhuru

托卡马克弹丸注入 pellet injection in Tokamak　将氢及其同位素用液氦冷冻成直径 1～10 mm 的固体小球定向注入托卡马克中的先进加料方法。其加料效率高、能形成峰化密度分布并改善约束特性和有利于辅助加热能量耦合的优点，使之成为未来核聚变反应堆稳态运行时连续加料的主要候选方法。通常采用原位冷冻制备冰冻弹丸、气动加速的方法，每管只能制备和发射一发并速度有限，不适合稳态运行聚变堆。如图所示为液氦冷却的螺旋挤压制丸器示意图。



液氦冷却螺旋挤压式制丸器示意图

（撰写：肖正贵　审订：钱尚介）

tuokamake de changmaichong yu wentai yunxing

托卡马克的长脉冲与稳态运行 long pulse and steady-state operation of Tokamak　等离子体电流能以长脉冲与稳态方式运行的托卡马克。到目前为止，高等离子体参数的托卡马克的运行方式是脉冲的。采用非感应电流驱动维持等离子体电流，争取稳定的高自举电流份额，以延长脉冲放电时间，进而达到稳态运行，是发展聚变堆的需要，也是托卡马克研究的重要课题之一。放电时间的长短，从工程上说，主要由托卡马克装置的规模和设计而定。初期托卡马克装置比较小，用脉冲电容器组供电，为毫秒量级；后来，托卡马克装置越来越大，用脉冲飞轮发电机组供电已达到 10 s 量级；使用电网供电或超导线圈可能达到千秒以上，从而实现托卡马克长脉冲运行，为稳态运行铺平道路。

（撰写：邱励俭　审订：钱尚介）

tuokamake dengliziti biya xianzhi

托卡马克等离子体比压限制 high β limit in Tokamak plasma　等离子体热压强与磁场压强之比，$\beta = p/(B^2/2\mu_0)$，$0 < \beta \leqslant 1$，其中 B 为外加磁感应强度。等离子体中的磁场等于 $B \times \sqrt{(1-\beta)}$，外加磁场部分地被等离子体屏蔽，当 $\beta = 1$，等离子体中无磁场。托卡马克为低比压系统，稳定 β 值远小于 1，通常仅为百分之几。低比压值导致托卡马克聚变堆经济性不佳，因此，高比压值下稳定运行是提高聚变堆经济性的重要条件。比压值的限制主要来自压强梯度驱动的气球模不稳定性，是在大环外侧磁力线曲率不利于稳定的坏曲率区发展的一种不稳定。理论分析得到比压限 $\beta_C = g \times [I_p(\mathrm{MA})/a(m)B(\mathrm{T})], g \leqslant 3$。

（撰写：钱尚介　审订：黄　林）

tuokamake dengliziti de nengliang yueshushijian yu shuyun

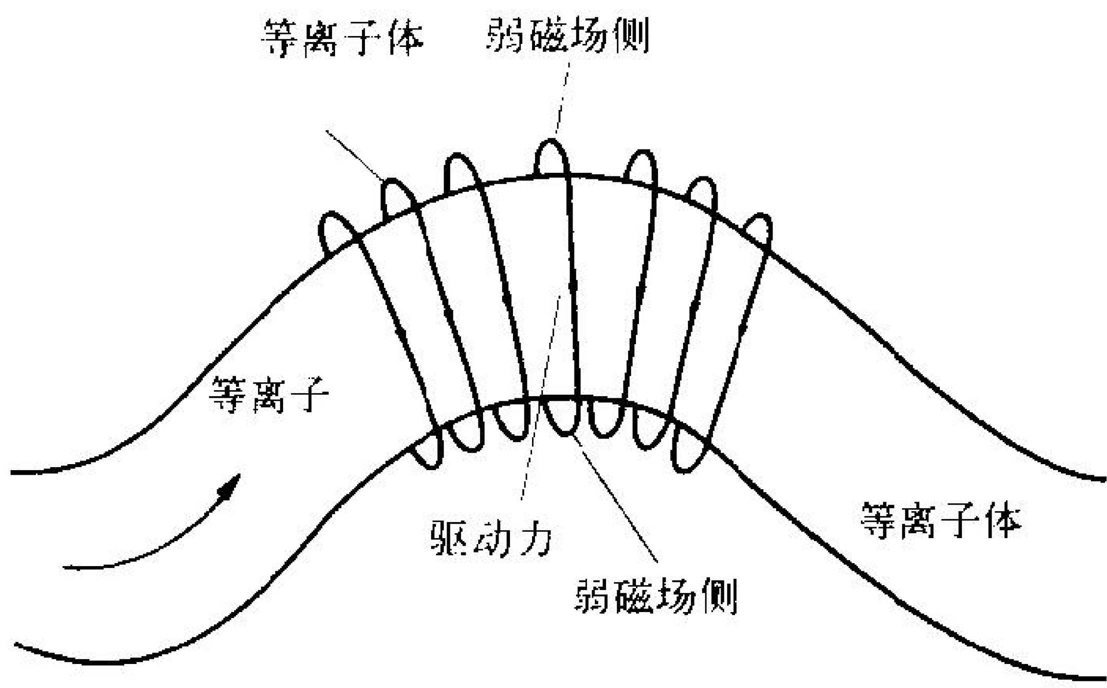
托卡马克等离子体的能量约束时间与输运 plasma energy confinement time and transport in Tokamak　托卡马克中等离子体的能量弛豫时间，由等离子体输运决定。能量约束时间是反映磁约束等离子体约束性能的重要参量之一。在圆柱对称几何中，考虑库仑碰撞引起的能量损失为经典输运。在托卡马克环形几何中考虑环形效应为新经典输运。等离子体输运是十分复杂的，有 4 个通量，即粒子通量、电子能量通量、离子能量通量及平行电流；4 种驱动力，即密度梯度、电子温度梯度、离子温度梯度和环向电压，因而产生 16 种输运系数，其中 10 种是独立的。由碰撞频率，托卡马克等离子体输运可分为 3 个区：碰撞区、香蕉区和坪区，其输运性质有很大区别，但粒子的扩散系数都与电子热导系数有同一数量级。实验中，发现能量约束时间比新经典理论预期的短得多，通常仅 10 %～1 %，称为反常输运。

（撰写：钱尚介　审订：黄　林）

tuokamake dengliziti de niuqumo buwending

托卡马克等离子体的扭曲模不稳定 plasma kink instability in Tokamak　由等离子体电流产生的磁场引起的螺旋形不稳定。扭曲不稳定性是严重的宏观 MHD 不稳定性。设不可压缩的圆柱形等离子体位于纵向磁场内并载有等离子体电流 I_P。计算得到稳定条件为边界上的安全因子 $q=(aB_t/RB_\theta) > 1$，式中 a 为等离子体半径，R 为大半径，B_t 为环向场，B_θ 为等离子体电流产生的极向场，这就是克鲁斯卡—沙夫拉诺夫判据。安全因子 q 的倒数 $l(r) = 2\pi RB_\theta/rB_t$ 为沿大环绕行一周后磁力线

沿等离子体中半径为 r 的圆周转动的角度。可见 $q=1$ 意味着绕行一周后磁力线正好回到原处闭合，这种磁面最容易发生的扭曲不稳定性（见图）。实际上 $q>1$ 并不足以稳定等离子体。取等离子体长度 $L=2\pi R$，增长最快的螺旋扰动具有螺距 $2\pi m/k=2\pi aB_\theta/B_t=L$，意味着扰动的螺距的整数倍与等离子体长度相等，磁力线将闭合而产生不稳定。m 是扭曲不稳定的模数。

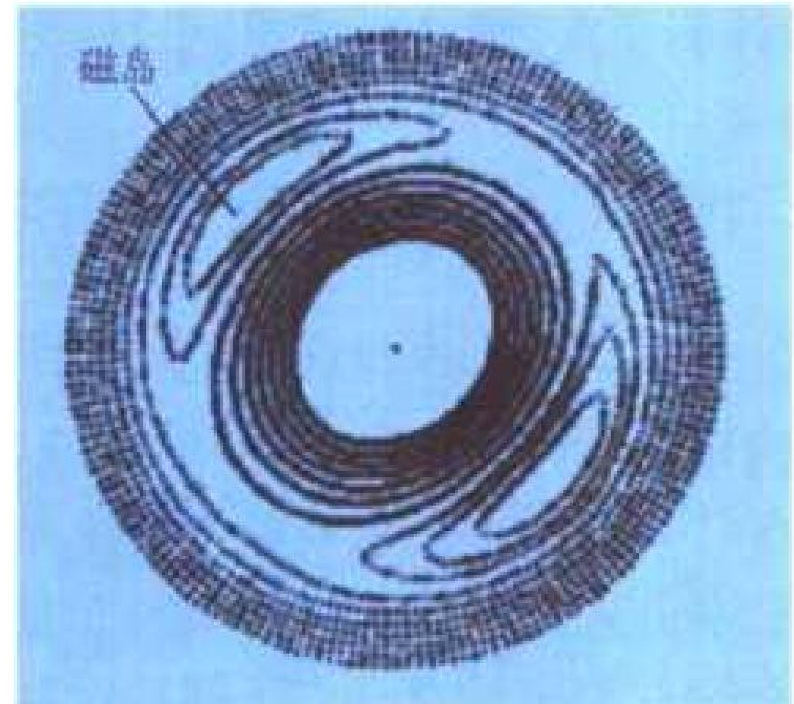


扭曲模不稳定示意图

（撰写：钱尚介　审订：黄　林）

tuokamake dengliziti de siliemo buwending

托卡马克等离子体的撕裂模不稳定　plasma tearing instability in Tokamak　磁面撕裂发生磁力线重联形成的不稳定性。等离子体中通过电流时，如果等离子体是理想导电的，电流线牢固地冻结在等离子体中。如果等离子体电导率有限，电流线可以移动，可分区地聚集在一起构成磁岛（见图）。在形成磁岛时必然把原磁面撕裂，发生磁力线重联，故称为撕裂模不稳定性。撕裂模是一种长波模，引起不稳定的力来自因磁场变化产生的电场。磁岛一旦形成便产生自己的磁轴，磁岛内的磁力线构成一组磁面。托卡马克 $q=m/n$（m 为角向模数、n 为环向模数）共振面上发生的共振扰动具有 m/n 模结构。



（撰写：钱尚介　审订：黄　林）

tuokamake dengliziti de zhuyao ciliuti xingwei

托卡马克等离子体的主要磁流体行为　MHD activities of Tokamak plasma　托卡马克等离子体的主要磁流体行为有：米尔诺夫振荡、锯齿振荡和破裂不稳定性。米尔诺夫振荡表现为极向磁场的振荡，其空间结构为 $\exp i(m\theta+\phi)$，θ 为极向角，ϕ 为环向角，环向模数 n 总等于 1，而极向模数 m 常为 3～9 的整数。由于趋肤效应，外侧电流升高，安全因子 $q(r)$ 出现极小值。若在极小值附近产生 $q=m/n$ 的两个共振面很靠近，其间的磁扰动是不稳定的。软 X 射线及微波等信号上观察到锯齿振荡。因 $m=1$ 不稳定性的发展，磁岛宽度加大，磁岛的磁轴代替了原有的磁轴。热输运加强，中心区温度迅速下降为齿谷，$q(0)$ 回升到 1.0。继后加热中，中心温度上升，$q(0)$ 又降到 1 以下，形成振荡。锯齿振荡还有双锯齿、巨锯齿和怪锯齿等。破裂不稳定性可导致放电突然中断，瞬间产生巨大机械应力和冲击热负荷，是聚变堆堆芯安全运行的主要障碍。破裂不稳定的机制尚未有完善的解释。

（撰写：钱尚介　审订：黄　林）

tuokamake dengliziti dianliu weizhi xingzhuang he midu de fankui kongzhi

托卡马克等离子体电流、位置、形状和密度的反馈控制　feedback control for the plasma current, position, shape and density in Tokamak　以极向场线圈电流对等离子体进行的实时控制。它使等离子体电流按照给定的快上升、慢上升、平顶和下降各段的波形和数值变化，使等离子体电流维持在要求的空间位置上并按要求形成和保持截面形状的反馈控制。采用布置在等离子体周围的磁探针和磁通环传感器，其信号在 1～2 ms 内由并行处理计算机按照给定的数学模型实时计算出电流、位置和形状参数，与给定值比较，再按照控制论算法计算出各电源的控制量；这是一个多输入多输出的非线性的复杂控制系统。与圆形截面相比，非圆截面等离子体由于存在垂直不稳定性使控制更困难。密度的反馈控制是实时控制送气进而控制等离子体的密度。

（撰写：袁保山　审订：钱尚介）

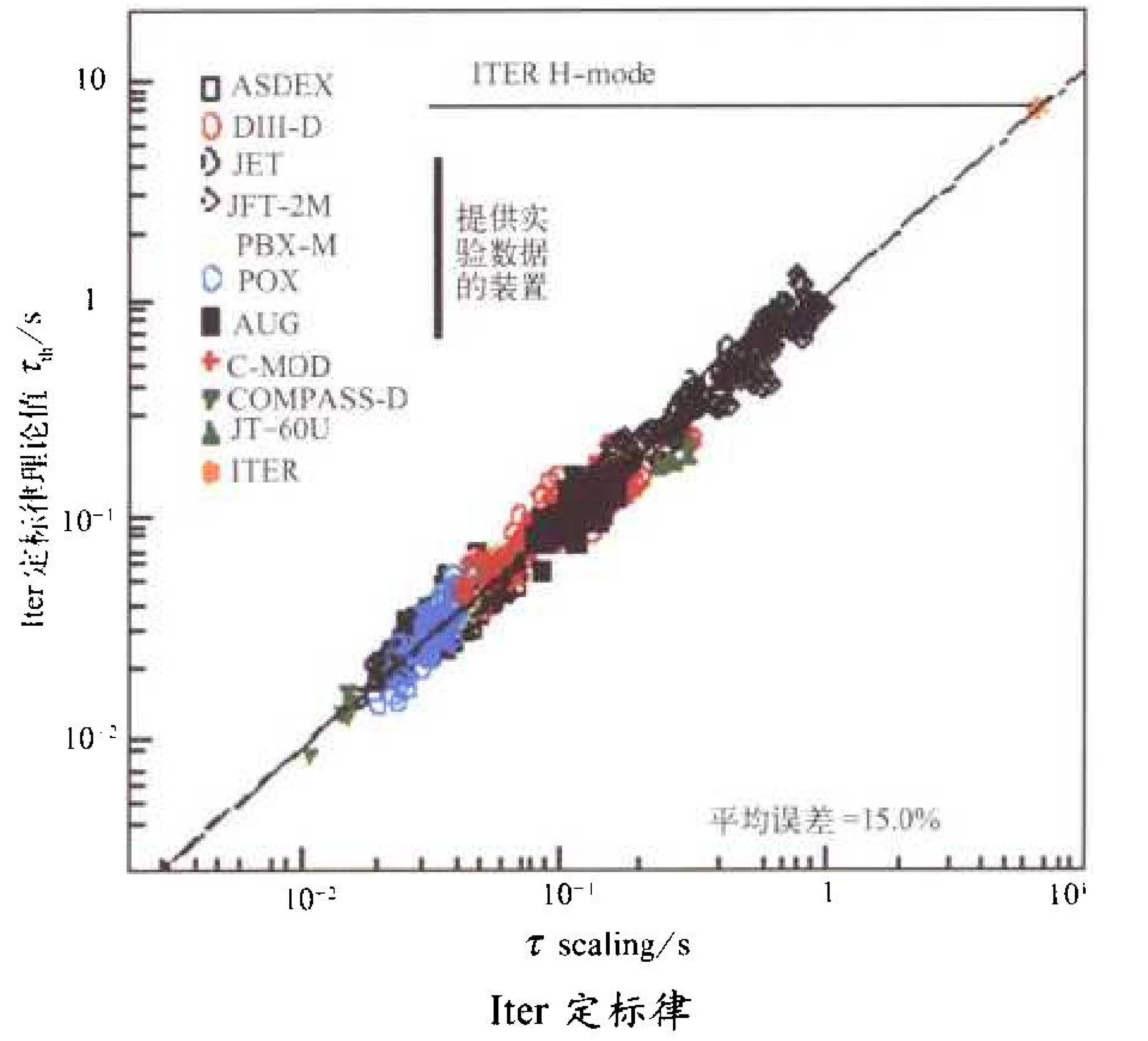
tuokamake dengliziti weiyi

托卡马克等离子体位移　displacement of Tokamak plasma　由于环形电流向外扩张，放电电流驱使等离子体沿大环半径向外的移动。它可偏离直至与限制器和器壁相碰，造成大量杂质，放电突然中断。等离子体平衡位置的控制是托卡马克运行的最基本的条件之一。通常加一个与等离子体电流环平面垂直的磁场，使 $J\times B$ 电动力沿大环半径指向内侧，把等离子体位移控制到预定数值。零级（圆柱）近似下，所需垂直磁场为：$B_\perp=(\mu_0 I_t/4\pi R)[\ln(R/a)+\Lambda-1/2]$，$I_t$ 为等离子体电流，R 为大半径，a 为小半径。$\Lambda=L_i+\beta-1$，其中 β 为等离子体比压，L_i 为等离子体自感，它与等离子体电流分布有关，当抛物线分布时 $L_i=0.92$。

（撰写：钱尚介　审订：黄　林）

tuokamake dingbiaolü

托卡马克定标律　Tokamak scaling law　等离子体总能量约束时间和托卡马克几何参数、运行工程参数以及等离子体参数之间的经验关系。它没有严格的理论推导，但它是放大尺寸、提高参数很重要的依据。定标律可以只从某一个装置大量实验数据中归纳出来，也可以从世界各国的实验数据中提



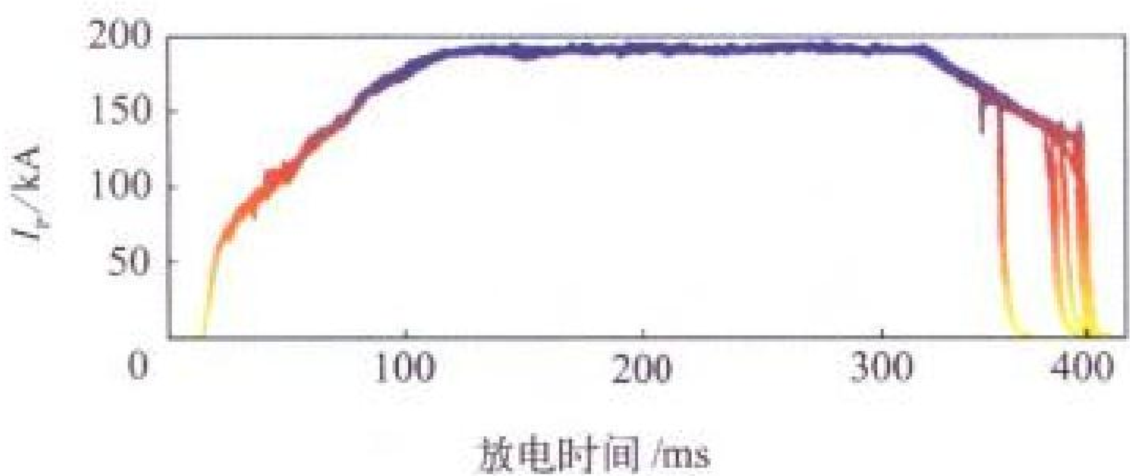
Iter 定标律

取。各种定标律不仅系数、指数有所差异，而且采用的变量也不同，不能简单比较。为国际热核试验堆 Iter 设计研究的需要，经仔细研究得到了设计用定标律（见图）。无边缘局域不稳定模，以现代托卡马克实验数据为基础的 H-mode 优化定标律为：$\tau_E = 0.0941 I_p^{0.97} R^{1.7} a^{0.23} n_e^{0.42} B_t^{0.08} A_i^{0.2} \kappa^{0.67} P_{heat}^{-0.63}$；等离子体密度限为 $n_e \leqslant 0.75 I_p/\pi a^2$；$\beta$ 极限 $\beta_{limit} = \beta_N (I_p/\pi aB)$；$\beta_N \approx 2.5$（经典）；$\beta_N \approx 4.0$（先进）；此外还有常见的 Alcator 定标律 $\tau_E = 5\times10^{-21} n_e q_a^{1/2} a^2$。

（撰写：钱尚介　审订：黄 林）

tuokamake fangdian de pingding yu chongfuxing

托卡马克放电的平顶与重复性　reproduceability and flattop of discharge current in Tokamak　托卡马克放电的平顶是指放电电流波形的平坦部分。它是放电电流除上升的前沿和结束的后尾外的中间部分。一般平顶变化保持在小于 10% 的范围内。放电重复性是指该波形在多次放电中的重复性，如图所示。任何物理现象的研究必须维持其他变化因素在被研究对象特征时间大 10～100 倍时间内不变的条件下才是可信的。放电平顶和重复性是等离子体物理实验研究的必要条件，它涉及各电源控制、等离子体平衡与密度控制、器壁清洗与处理和再循环控制，是个系统工程问题。

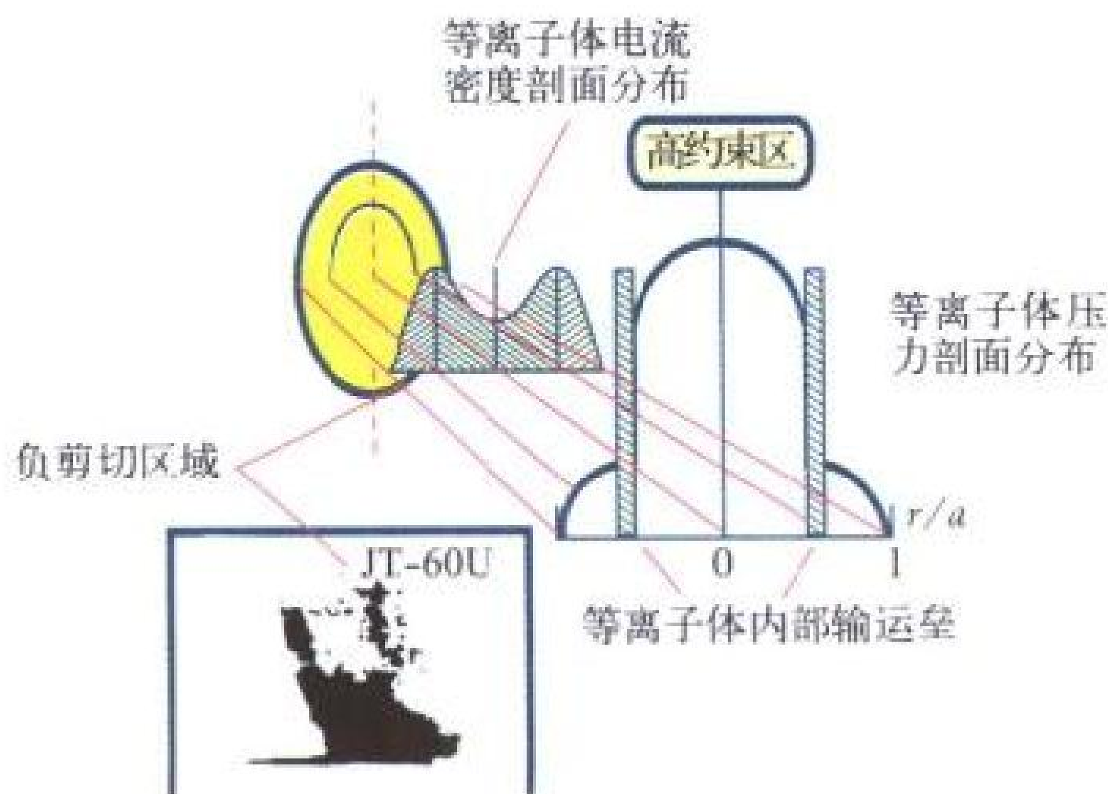


15 次放电重复性

（撰写：王恩耀　审订：钱尚介）

tuokamake fujianqiemo

托卡马克负剪切模　negative magnetic shear mode in Tokamak　磁剪切为负的工作模式。磁剪切 $S = (\rho/q)(dq/d\rho)$ 其中 q 为安全因子，$\rho = r/a$，它对等离子体稳定性起着很重要的作用。托卡马克的标准电流分布是峰化的，在中心轴上最大，因此，$S > 0$。最近的研究发现，当产生离轴的极小 q 值即中空电流分布位形可获得很好的约束性能。这时 $S < 0$，称之为负磁剪切模式（见图）。与 H 模式不同，形成的输运壁垒在主等离子体区，能更有效地改善约束。实验观察到径向输运比新经典理论预期值还低，成为低成本 Iter 方案的重要物理改进。



负剪切实验原理图

r—装置小半径坐标；a—等离子体小半径

（撰写：王恩耀　审订：钱尚介）

tuokamake gaomidu fangdian

托卡马克高密度放电　high density discharge in Tokamak　托卡马克中等离子体密度超过高密度限时仍可以稳定运行的放电状态。为提高核聚变堆经济性而提高等离子体比压 β 的努力，需要在同等条件下提高安全、稳定运行的等离子体密度。不同的托卡马克装置由于规模和结构不同，所提高等离子体密度的范围也不同。实现高密度放电有许多方法，如常规脉冲送气、冰冻弹丸注入、中性束注入和由我国 HL-1M 组首创的超声分子束注入等。目前世界上托卡马克装置达到的最高等离子体中心密度为 $10^{21}m^{-3}$，是由美国高磁场装置 Alcator C-Mod 创造的。

（撰写：周 艳　审订：钱尚介）

tuokamake gaoyueshu moshi

托卡马克高约束模式　high-confinement mode in Tokamak　当加热功率超过某个阈值时等离子体的约束时间比阈值前高一倍多的一种高约束状态，此时，约束改善不是连续地提高，而是突然的转变，转变前后的状态被分别叫做低约束状态 L 模和高约束状态 H 模。L/H 转变常与 H 模式相提并论。L/H 转变是输运方程的分支行为。把 H 模式与极向流或径向电场及其剪切联系起来，对实验结果作了解释。1995 年后 H 模的重要发展——增强反剪切（ERS）或优化剪切（OS）模就是优化 q 分布的结果。H 模放电时输运垒出现在边缘，即 T 和 n 分布在边缘变陡；而 ERS 或 OS 模的输运垒出现在内部，约束时间可提高数倍，聚变三乘积提高更显著。

（撰写：邱孝明　审订：钱尚介）

tuokamake qibi biaomian qingxi yu chuli

托卡马克器壁表面清洗与处理　Tokamak wall conditioning　对器壁表面的放电清洗和原位涂层处理。放电清洗是用放电产生的离子或受激原子作用于器壁，使壁表面吸附的气体和某些易挥发物质释放出来，由真空机组抽除。通常放电清洗技术有泰勒放电、辉光放电、RF 和微波辅助放电等。原位涂层处理是利用物理气相沉积或等离子体化学气相沉积法在器壁表面形成特殊性能的薄膜 (1) 材料的原子序数比基体的低；(2) 抗等离子体溅射能力较基体强；(3) 对氧有较高的亲合势；(4) 对氢有较强的抽气效应，以抑制等离子体对器壁材料的溅射，大大减少气态氧粒子和氢的再循环。先进原位涂层处理技术有硼化、硅化、锂或铍涂层。锂—硅或锂—碳复合涂层是涂层技术发展的重点。

（撰写：张年满　审订：钱尚介）

tuokamake qibi zhuangtai kongzhi

托卡马克器壁状态控制　Tokamak wall state control　对放电室器壁进行处理来控制器壁状态。托卡马克器壁状态主要是指器壁表面的物理相、化学组成和化学活性等。器壁在高温等离子体辐照下将成为主要的杂质源和粒子再循环源。通过器壁原位处理达到对等离子体纯度和密度的控制，获得优良的托卡马克放电的可控性、重复性和稳定性以及良好的约束性能。器壁状态控制是等离子体与器壁相互作用研究的核心之一，同时也是聚变堆设计的必要组成部分。利用放电室器壁氦放电清洗、原位硼化或硅化等壁处理工艺，可实现器壁状态的优化控制、以获得长时间的稳定放电。

（撰写：朱毓坤　审订：钱尚介）

tuokamake ranliaolizi zaixunhuan kongzhi

托卡马克燃料粒子再循环控制 control of fuel particle recycling in Tokamak 通过改变各种相关因素来控制燃料粒子再循环的大小的方法。再循环是托卡马克放电期间，燃料粒子多次从等离子体出来，经过与面对等离子体材料相互作用后，又回到等离子体的过程，平均粒子循环十到几十次。总体再循环系数定义为穿过最后闭合通量面的燃料粒子流入通量和流出通量之比：$R=\Gamma_{in}/\Gamma_{out}$。用改变烘烤壁温，$H_2$+He，$H_2$+Kr等混合气体辉光放电清洗，蒸镀吸收膜，改变孔栏位置或使用抽气孔栏，掺入惰性气体氦、氖或氩，以及等离子体位移控制，密度控制和电流控制等可获得非常干净而低再循环的靶等离子体（R= 0.4～0.6），再配合芯部加料和电流慢上升技术，可扩展稳定运行区。 （撰写：彭利林 审订：钱尚介）

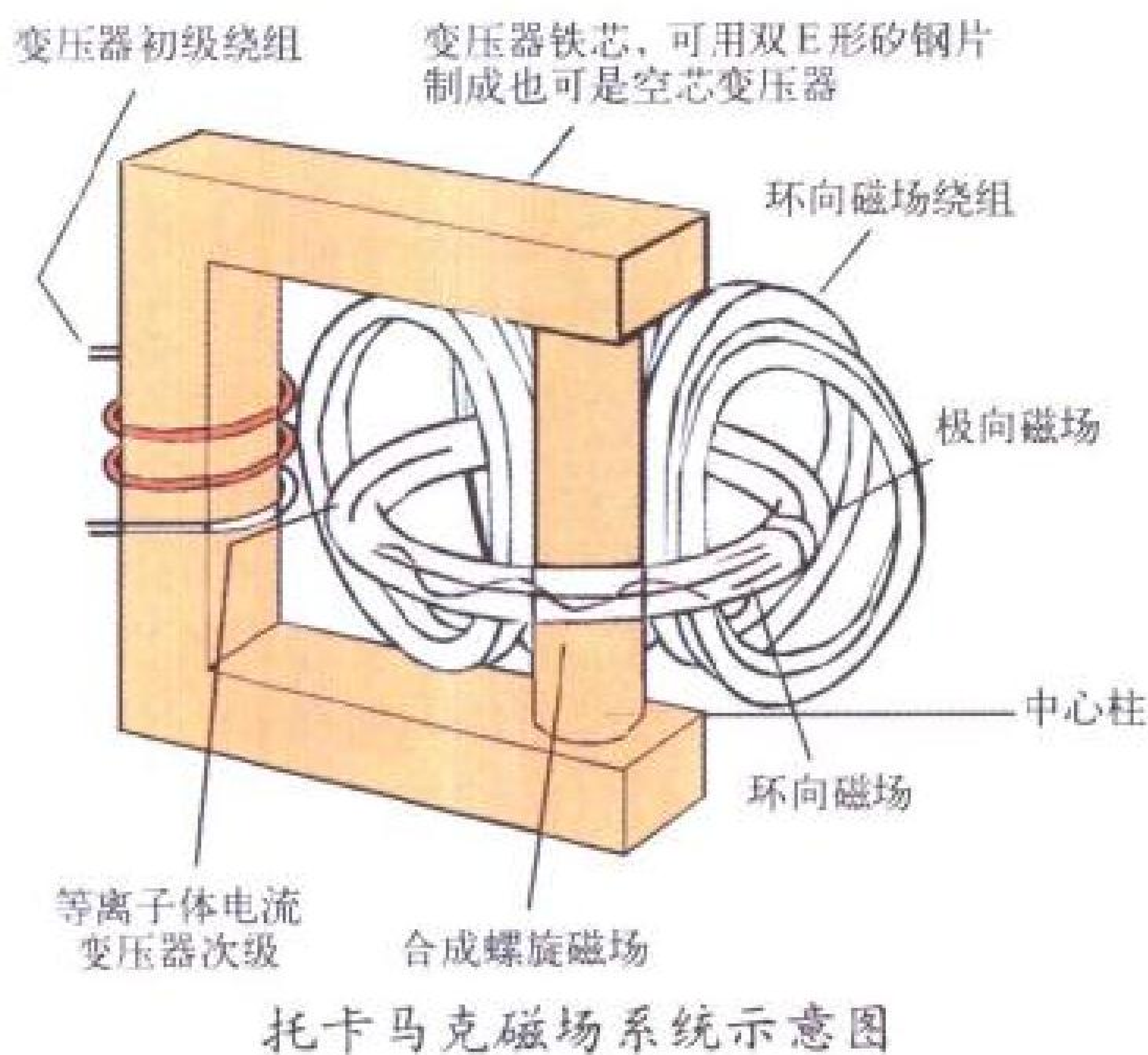
tuokamake wugan dianliu qudong

托卡马克无感电流驱动 non-inductive current drive in Tokamak 对等离子体的非感应方式的电流驱动。一般初始等离子体电流是通过欧姆变压器的感应而建立的，但由于欧姆变压器的有限磁通的限制，感应电流驱动不能长时间维持，因而必须发展无感电流驱动。无感电流驱动方法有各种高频波电流驱动、中性束注入电流驱动等。中性束注入电流驱动的物理机制比较清楚而易于用实验验证的理论计算扣除其贡献，因而，实验上可以较好地确定自举电流份额，但是，它通常适用于大型托卡马克装置。目前常用的无感电流驱动是低混杂波电流驱动，但由于可用波源频率的限制，通常只能在等离子体密度低于 $5\times10^{19}\,m^{-3}$ 下工作。托卡马克自举电流占主要部分（≥ 80 %）时，无感电流驱动可仅作为一种补充。

（撰写：刘 永 审订：钱尚介）

tuokamake zhuangzhi

托卡马克装置 Tokamak 利用等离子体电流产生的极向场与外加纵向磁场的组合形成的闭合环形磁面约束等离子体的装置。它是磁约束核聚变各途径中目前规模最大，参数最高的装置，受控热核反应物理可行性就是在托卡马克上获得验证的。目前已达到核聚变功率 14 MW，等效聚变功率与输入功率之比大于 1。托卡马克主体由磁体系统与真空室构成。磁体系统分为环向场与极向场。环向场磁体通常由 12～16 个圆形或 D 形线卷组成（见图）。极向场系统完成欧姆电流产生、等离子体截面成形和等离子体位移控制等多项功能，由几套完全不同的电源供电。真空室用薄壁波纹状或蜂窝状结构，用无油抽气系统抽至 10^{-6} Pa 超高真空，在投入运行前需作放电表面清洗，然后经处理以改善表面状况。真空室内表面常挂有石墨瓦。常见的托卡马克等离子体截面形状有圆形、D 形和豆形。异形截面比圆形截面可允许更大的等离子体电流、更高的 β 值，而且容易设计成极向偏滤器，从而使杂质得到更好的控制。



托卡马克磁场系统示意图

几个主要国际大型托卡马克工程参数

装 置	R/m	a/m	b/m	B_t/T	I_p/MA	t_{dis}/s	截 面	其 他
TFTR	2.48	0.83	–	5.2	2.5	4.0	圆形	国际首次氘氚反应
JET	2.96	1.25	2.10	3.5	7.0	30	D 形	聚变功率 ≥ 10 MW
JT–60U	3.0	0.95	k=1.7	4.8	6.0	20	D 形	Q_{eq}=1.2
DIII–D	1.67	0.67	k=2.0	2.2	3.0	10	D 形	β 值最高
Tore–S	2.36	0.8		4.5	1.7	120	超导	较高参数持续 2 min
Asdex–U	1.65	0.5	k=1.6	4.0	2.0	30	D 形	

表中 R 为大半径，a 为水平方向等离子体尺寸，b 为垂直方向等离子体尺寸，k 为等离子体截面拉长比，B_t 为环向磁场，I_P 为等离子体电流，t_{dis} 为放电持续时间。

（撰写：钱尚介 审订：黄 林）

tuokamake ziju dianliu

托卡马克自举电流 bootstrap current in Tokamaks 在香蕉区中捕获的粒子的径向压强梯度引起的环向电流。当等离子体参数足够高时，会“自发地”产生纵向电流，可大大降低对无感电流驱动的要求，是维持托卡马克堆稳态运行的重要条件。从本质上说，自举电流是由速度相同、方向相反的电子香蕉轨道的不对称性造成的。高参数托卡马克等离子体实验中常伴随着自举电流，实验观察到的自举电流份额已达到 50 %～80 %。理论预计，球形托卡马克位形中因新经典等离子体电导率下降而使欧姆电流下降、因捕获粒子数增多而使自举电流增大，有利于获得高自举电流份额。自举电流与无感驱动的电流不能用实验方法区分，需扣除无感驱动的电流值而获得自举电流份额。目前，除了中性粒子束注入电流驱动外，各种波电流驱动理论尚不足以保证自举电流份额实验值的可靠性。

（撰写：王中天 审订：李启瑞）

tuoxiao

脱硝 denitration 从废液中除去硝酸或硝酸根的过程。在核燃料后处理厂的普雷克斯流程中，几乎全部裂变产物都留在硝酸萃余液中，成为高放废液，它与中放废液的浓缩液和硝酸蒸发器的蒸残液一起进行蒸发浓缩，其蒸残液的硝酸浓度可达 7 mol/L。对此废液进行脱硝处理，可回收硝酸，减少对不锈钢贮罐的腐蚀和废液体积，也有利于进行长寿命裂变核素的分离。脱硝是采用蒸汽提馏法或添加有机还原剂（如甲醛、甲酸和蔗糖等）在一定温度下将硝酸还原成氮的氧化物。甲醛脱硝的化学反应为

$$HCHO + 4HNO_3 \rightarrow CO_2\uparrow + 4NO_2\uparrow + 3H_2O\ \text{（在浓硝酸中）}$$

$$3HCHO + 4HNO_3 \rightarrow 3CO_2\uparrow + 4NO\uparrow + 5H_2O\ \text{（在稀硝中）}$$

甲醛是强还原剂，脱硝反应受溶液的酸度、温度、杂质和甲醛的加入量、加入方式和加入速度等因素的影响。脱硝产生的氧化氮，可用水吸收转化为硝酸。回收的硝酸需要进行净化并经精馏浓缩方可复用。

（撰写：骆大星 审订：孙明生）

tuoyanghetanghesuan sunshang yu xiufu

脱氧核糖核酸损伤与修复 DNA damage and repair 辐射对DNA的各种损伤效应及损伤后的修复规律。DNA是辐射的敏感靶分子，辐射可以引起糖基破坏、磷酸二酯键断裂或碱基破坏与脱落，其后果是DNA链断裂、交联、变性和降解。DNA双螺旋结构中一条链断裂者为单链断裂，两条互补链于同一对应处或紧密相邻处同时断裂为双链断裂。DNA变性系指双螺旋结构解开、氢键断裂，若DNA的多核苷酸链内共价键的断裂或分子量降低称为降解。业已证明，辐射引起的DNA各类损伤均能发生修复。某些DNA损伤可用简单的方式以一种光复合酶或DNA连接酶进行回复修复，有的则需利用多种酶和蛋白质进行切除修复或重组修复，细菌可进行SOS修复反应（SOS：国际通用的遇难信号），其修复过程容易发生错误。DNA损伤引起的生物学后果不仅取决于其损伤程度，更重要的还决定于其修复能力，DNA损伤后的修复与细胞存活密切相关。已经陆续发现有关DNA修复的一些基因，并将进一步揭示基因活动的全貌，为改变人类细胞的辐射敏感性提供新的途径。

（撰写：苏燎原　审订：孙世荃）

tuofeng quxian

驼峰曲线 hump curve 见裂变产物质量分布。



waibaozhuang

外包装 overpack 已被封装的放射性废物货包的补充外部容器或包装物。外包装有两种用途：一种是当废物货包表面剂量率超过管理限值时，为降低货包表面的辐照水平而附加在废物货包外面的包装。它可以重复使用，也可以是废物货包的永久部分，在处置场内随废物货包一起处置。另一种是为了发货人或承运者装卸、堆放和运输方便，将一批待运货包中的两件或两件以上的货包组合成一个装卸单元所使用的箱子（盒子）之类的容器。

（撰写：冯声涛 审订：黄雅文）

waisheng youkuangchuang

外生铀矿床 exogenic uranium deposit 地球外营力引发的、发生在地球表面或岩石圈最上部的，主要是太阳辐射、重力和生物体的生命活动有关的地质作用——外生成矿作用所形成的铀矿床。外生成矿作用一般是在较低的温度和压力条件下发生的。根据成矿作用特点，外生铀矿床还可进一步划分为风化铀矿床、机械沉积铀矿床、沉积成岩铀矿床、表生成岩铀矿床和外生后成铀矿床等。

（撰写：陈祖伊 审订：赵凤民）

waiyidianzi tanceqi

外逸电子探测器 thermal stimulated exoelectron detector 又称热释外逸电子探测器。一种利用测量热激发外逸电子的方法来测定累积剂量的储能探测器。这种探测器通常是利用掺杂的无机晶体制作的。其原理是由于杂质的存在，在晶体内形成缺陷，使晶体内导带和价带间产生亚稳态的陷阱能级。外逸电子材料被射线照射后，在晶体中所产生的电子或空穴被陷阱俘获，形成潜在的发光中心，把辐射能量较长期地保存起来。当对外逸电子材料加热时，陷阱中的电子被激发至导带，一种可能是电子从导带返回价带的过程中与发光中心复合而发出热释光（参见热释光探测器）。另一种可能是电子直接从导带克服表面势垒而逸出表面，成为外逸电子。外逸电子数随加热温度的分布称为外逸电子曲线。在一定剂量范围内，外逸电子总数与剂量成正比。通常采用流气式计数器或光电倍增管来测量外逸电子。常用的外逸电子材料有 BeO, LiF, NaCl, CaF_2, $BaSO_4$ 和 SiO_2 等。尽管由于测量的不便使得外逸电子技术的应用不及热释光广泛，但在浅表剂量测量及大剂量测量方面外逸电子探测器有其优点。

（撰写：马吉增 审订：张延生）

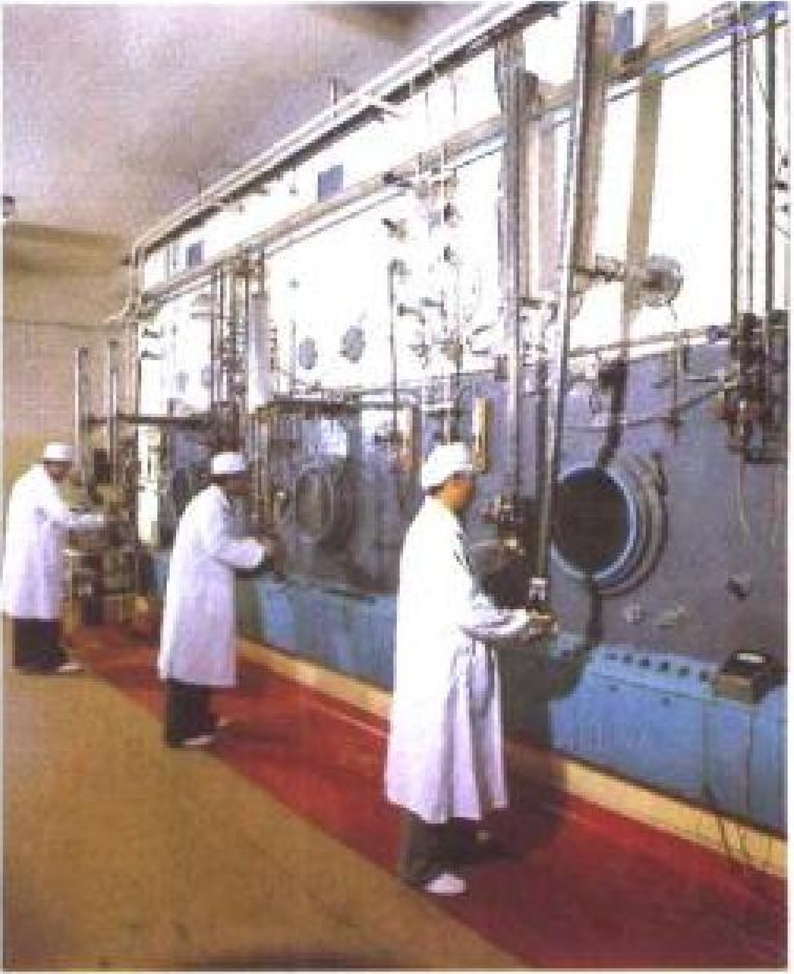
wai zhaoshe

外照射 external exposure 体外辐射源对人体的照射。X射线、γ射线和中子等贯穿辐射对人体全身或器官都可产生危害。而弱贯穿辐射的β射线因其穿透率小只对皮肤浅表和眼晶体造成危害。一般来说，α射线不会引致皮肤的外照射危害。外照射的防护通常采用时间、距离和屏蔽三原则，即控制受照时间、增大与辐射源间的距离以及在人和辐射源之间加足够厚的屏蔽材料。对贯穿辐射，屏蔽较困难，易引起较大剂量的照射。β射线与物质相互作用会产生轫致辐射，因而，应注意对轫致辐射的屏蔽。根据受到的照射水平和它的时间分布，可将各种照射划分为两种类型。第一类是连续的或间断的低剂量率、低剂量水平下的持续照射；第二类是中等或高剂量率、大剂量水平下的短时间照射。从受照部位的大小及其均匀程度看，又有全身照射与局部照射，均匀照射与非均匀照射之别。一般来说，高剂量率的全身均匀照射危害最大。低剂量的持续性照射，不会即刻影响到人的健康，但可能诱发随机性效应。

（撰写：金月如 审订：马如维）

wai zhaoshe fanghu

外照射防护 protection against external exposure 防止来自体外辐射源和辐射装置等产生的射线对人体照射所采取的所有的手段和措施称为外照射防护。主要有三种办法：(1) 增加距辐射源及辐射装置等的距离；(2) 对射线进行屏蔽；(3) 缩短照射时间。即通常所称的距离防护、屏蔽防护和时间防护。距离防护：距辐射源和辐射装置等越远，辐射量越小。如果人体在射线最大射程以外，就认为可免受射线照射的危害，当然这对α和β射线是易于实现。当操作放射性物质时，利用简单的镊子到几米长的长柄钳子或机械手等各种工具进行操作就能达到距离防护的作用。屏蔽防护：根据辐射类型、辐射场强度和可接受的剂量率等，通过优化设计合适屏蔽材料构成的屏蔽体来实现防护目的。时间防护：在具有特定剂量率的区域内工作的人员所受的累积剂量正比于其在该区域内停留的总时间，因此可以用限制其在该区域内停留的时间，来控制其接受的剂量实现防护目的。在实践中，通常将这三种防护办法予以组合应用。



距离防护中所采用的机械手

（撰写：董柳灿 审订：潘自强）

weixian

危险 risk 危险一般是指某一事件（通常是指不受欢迎的）发生概率和可能严重程度的量度。在辐射防护中是指由于辐射照射的结果对个人或人群组产生的特定健康效应的概率。年危险是指在给定年内由于照射的结果对个人产生的特定健康效应的概率。可归因危险是指由特定照射结果产生的特定健康效应的危险。超额危险是指在流行病学研究中在受照人群组中观察到的特定随机效应的发生率相对于未受照对照人群组之差。相对危险是指在流行病学研究中在受照人群组中

观察到的特定随机效应的发生率和未受照对照人群组之比。超额相对危险是指特定随机效应的超额危险相对于在未受照射群体中同样效应的概率之比，即相对危险减 1。从理论上说，它应等于受照人群组的可归因危险，但超额相对危险通常用于指观察到效应的人数，而可归因危险通常指基于已知的或估算的照射计算的数值。终身危险指由于辐射照射的结果在终身中某一特定健康效应的概率。 （撰写：潘自强）

weixian renzhi

危险认知 risk perception 危险认知是指对危险的正确、科学和全面理解。在危险管理中需要注意危险认知问题，已经鉴明一些因素影响公众危险认知。例如：(1) 事故大小是重要的。引起大量人员死亡的稀有事故通常被认为比引起少量人员死亡的较常见事故更严重。与每10年引起1人死亡的事故相比，大多数人更关心每10万年可能引起1万人死亡的事故；尽管从数学上看两者的年平均死亡率是相同的。(2) 许多人实际面对的危险高于他们拒绝接受的危险（当他们了解以后）。这表现在他们对日常生活中不熟悉的危险和感到无力控制的危险特别反感。对与死亡后果（如癌症）有关的危险，尽管这种危险很小，也很反感。(3) 利益和危险的分配也影响工业活动的可接受性。例如：生活在潜在危害较大的工厂附近的人可能面对较高的危险，但也可能获得明显的利益，因此对危险更能忍受。公众对电离辐射的了解通常较少。电离辐射可以引起伤害而没有感觉，也可能诱发癌症。在公众的心目中，它是与核爆炸和不可控制事故联系在一起的。这就使得公众对包含辐射的技术产生特别强烈的抵触情绪。在有些情况下，由于沟通很差和不正确的、片面的信息使得情况变得更为严重。因此，在电离辐射的危险管理中加强危险认知工作就显得更为重要。 （撰写：潘自强）

weili

威力 yield 常规炸药或核爆炸装置爆炸时产生的能量。我国法定能量计量单位为焦耳(J)，但衡量核武器威力习惯上常用“吨TNT当量”作为计量单位。核武器的威力是指其爆炸时释放的总能量。释放能量的形式随武器类型、爆炸方式、爆后经历时间的不同而变化。核爆炸的初始能量集中在裂变碎片、瞬发辐射和聚变产物身上，随后形成了冲击波、光辐射、早期核辐射、放射性沾染和电磁脉冲等杀伤破坏因素。在大气层核爆炸时，各种杀伤破坏因素所占的能量比例主要取决于核武器的性质和爆炸方式。在美国、苏联的核武器发展过程中，20世纪五六十年代两国曾竞相发展大威力武器，部署过千万吨TNT当量级的核弹，并以核武库所拥有威力的百万吨TNT当量的数值来显示核威慑能力。20世纪七八十年代随着核武器数量和威力的不断增加，核武库所拥有百万吨TNT当量的数值足以摧毁对方的所有城市等面目标时，战略核武器开始转向以打击对方导弹井等硬目标为主的发展方向，注重发展中小型核武器，同时提高核武器命中精度、等效百万吨数和生存、突防能力，而不再一味追求大威力这个单一指标。 （撰写：竺家亨 审订：郑绍唐）

weiba jiagong jishu

微靶加工技术 micromachining technique 毫米和亚毫米尺度的激光聚变靶加工技术。靶零件的加工误差为微米和亚微米量级，表面粗糙度可达5 nm。由于靶的结构十分复杂且类型繁多，所以该技术需要加工工件表面粗糙度好于5nm的单点金刚石车床、三维多自由度高精密铣床，钻孔尺寸达到0.1 μm的准分子激光器、离子钻等微加工设备和埋点靶、多台阶靶等制备中的深度光刻铸造技术(LIGA)。隧道扫描显微镜的应用开始了微靶的分子水平加工技术研究，提高了精密靶制备能力。 （撰写：唐永建 审订：江文勉）

weibo ganzao chuli

微波干燥处理 microwave drying treatment 利用微波的辐射作用使放射性废物干燥的一种处理方法。微波波长为0.001～1 m，频率为几百兆赫到几十万兆赫，产生热量大，热效率高，加热均匀，是一种良好的干燥手段。微波干燥适于处理核医学实验所产生的被放射性污染的动物尸体及动物血制品和排泄物等。经微波干燥处理变得适于整备、运输、贮存和处置。同焚烧处理一样，微波干燥处理过程也需要重视排出气体的净化和产生灰渣的进一步处理。

（撰写：罗上庚 审订：范显华）

weiguan zhongzi jiemian

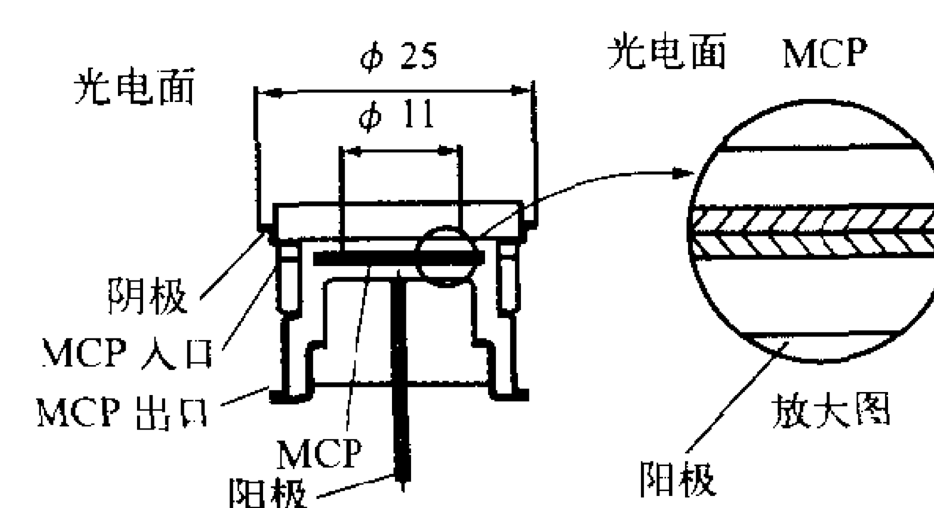
微观中子截面 microscopic neutron cross section 见核反应截面。

weishu

微束 micro beam 束径小至微米、亚微米的离子束。可分为能量低于200 keV和1～5 MeV/核子的两类微束，分别有不同应用领域和所需设备与技术。前者除了成功地用于离子显微镜、二次离子质谱分析外，正大力研究无掩膜离子注入和微细加工，包括微电路曝光、增强刻蚀、薄膜沉积等应用。发展了液态金属离子源和场蒸发气体离子源，目前最小束径可达ϕ 150～200 nm，离子流密度约等于1 A/cm^{2}和流强约等于5 nA。高能微束常称为离子微探针，如质子束径小于等于ϕ 2 nm，典型流强为5～10 pA/μm^2。它使以单级静电加速器或串列加速器为基础的离子束分析方法，即质子诱发X射线、核反应分析、卢瑟福背散射和沟道技术，同时达到高的元素分析灵敏度和空间分辨率，并已经形成微离子束分析特殊技术。它们在高能微束离子注入、微区核成像、单粒子效应研究方面也有很好进展。 （撰写：赵渭江 审订：关遐令）

weitongdaoban guangdian beizengguan

微通道板光电倍增管 microchannel plate photomultiplier tube 用微通道板作电子倍增器，配以光电阴极、阳极而组成的光电倍增管。如图所示为典型的微通道板光电倍增管(MCP-PMT)的剖面图。它由入射窗、光电面、微通道板



MCP-PMT 的示意图

及阳极构成。从光电面发射的光电子被拉进微通道板细管内，碰撞其内壁，多次倍增后输出。除单阳极微通道板光电倍增管之外，国外已有多阳极微通道板光电倍增管产品。微通道板光电倍增管主要特点是小型、坚固、高增益、快时间响应

(如上升时间可达 150 ps，下降时间 360 ps)、抗磁场干扰及低功耗。(撰写：汲长松　审订：彭华寿)

weitongdao fangdian dengliziti

微通道放电等离子体 micro-channels discharge plasma　在两个被绝缘物分隔的金属电极间产生的、由许多无规的微小放电通道构成的放电。通常放电是在两个裸露的金属电极之间进行的。微通道放电中，至少一个电极为绝缘介质包围。电极间电压足够高时，气体被击穿。形成的放电由无数个时间上空间上都随机分布的微放电组成，每个微放电持续仅约 10 ns，直径数微米而近乎均匀的圆柱形，故称为微通道放电，亦称为介质阻隔放电。从宏观上看这种放电是空间上均匀的、时间上稳定的。由于直流放电会被绝缘介质阻断，因此通常用 3～50 kV，1～50 kHz 的高频电源供电。因为它可以在低气压直至高于大气压下工作，而且可以制成大面积等离子体，结构与电源简单，所以在工业上有广泛的应用。(撰写：钱尚介　审订：李启瑞)

weixing zhongziyuan fanyingdui

微型中子源反应堆 miniature neutron source reactor (MNSR)　以高富集铀作燃料、轻水作慢化剂和冷却剂的小型罐—池式核反应堆(见图)。这种堆额定功率只有 20～30 kW，热中子注量率在 $1\times10^{12}\,cm^{-2}\cdot s^{-1}$ 左右。它的主要用途是中子活化分析、科学研究、教学和培训。这种堆具有固有安全性，又易于接近、易于操作，对环境污染小，因而可以建在人口密集的大中城市的研究所、医院和大学等单位内。



微型中子源反应堆

(撰写：高永春　审订：陈叔平)

weideluoai qiang

维德罗埃腔 Widröe resonator　加速重离子、工作在低频(几十兆赫兹乃至低到十几兆赫兹)的直线加速器用谐振腔。最初的该种加速腔是由维德罗埃在 1928 年建成的。圆柱形腔筒中装置一系列漂移管，并将奇、偶序数的两组漂移管分别联至高频功率源输出的具有相反相位的两个高压电极上。一个同步离子经过两个相邻间隙中心的飞行时间为半个高频周期，因而得以一直加速下去。这种加速腔由于频率可以做得很低而适于加速低能重离子。(撰写：方家训　审订：关遐令)

weixiuqu

维修区 maintenance area　进行放射性设备、管道等维修活动的区域。维修区一般布置在放射性设备管道区的生物屏蔽层的上方或侧面，例如：安装检修厅、维修廊(间)、热室工作箱的后区等。维修区属于放射性厂房分区布置的橙区，是放射性控制区，人员必须经过卫生闸门和空气闸门才能从绿区进入维修区，要求保证该区外照射剂量当量率限值小于导出限值，在进行维修作业时允许放宽 20 倍，空气中α，β污染放射性浓度限值小于工作人员导出限值浓度。维修区的气流组织流向从绿区向橙区(维修区)、红区(放射性设备管道区)方向流动，即各区有负压梯度，维修区一般保持 −100～−50 Pa。(撰写：王世诚　审订：郑华铃)

weijingyanxing youkuangchuang

伟晶岩型铀矿床 pegmatite type uranium deposit　经结晶分异的残余酸性熔浆在冷凝结晶和气成交代而形成的花岗质伟晶岩中的铀矿床。国际原子能机构将其归入侵入岩铀矿床类，我国习惯上将其列为独立的铀矿床类型。产铀伟晶岩多发育在前寒武纪地台或地盾的边缘带中以及古老的地槽褶皱带中，沿一些深成花岗岩侵入体的内外接触带分布。产铀伟晶岩均为花岗质伟晶岩。主要铀矿物为晶质铀矿、铀钍石，常与稀有元素矿物共生。矿石中铀的品位低(0.06 %～0.1 %)，矿体规模不大，长几米至几百米，宽几厘米至几米。单个矿床的铀资源量为几百吨至一二千吨。伟晶岩型铀矿床在世界铀资源中不具重要意义。(撰写：陈祖伊　审订：赵凤民)

weichang jiasuqi

尾场加速器 wake-field accelerator　利用强脉冲束流或激光脉冲所产生的尾场直接加速尾随其后的带电粒子的一类新型高梯度加速器。它可按尾场产生的环境分为两种类型：一类是在慢波结构之中，另一类是在等离子体中。科学家研究了多种慢波结构，包括类似于常规加速腔的盘荷波导、电介质波导以及同轴电介质管道等结构。当一个强流短脉冲电子束经过一个高频慢波结构时，会在这个结构中激发出波导模式，其相速与这个驱动脉冲的速度相同，加速梯度最大可达 50～100 MV/m，它可用来加速另一个较弱流强的电子束脉冲。以一个适当的激光脉冲或电子束脉冲经过等离子体时，会在其中激励起等离子体波，其相速与驱动脉冲速度相同，与高频结构中的尾场不同之处是，它是单模驻波，而且，由于等离子体不受击穿条件的限制，其最大加速梯度比高频结构中高出很多，可达几个 GV/m。(撰写：傅世年　审订：张　闯)

weikuangba wendingxing

尾矿坝稳定性 stability of tailing dam　尾矿坝体的稳定对铀尾矿库工程安全至关重要。尾矿库的坝体是由土石堆筑而成，一旦坝体失稳，造成塌垮则可能导致贮存库内的铀尾矿大量流失而形成严重的环境污染事故。稳定性分析应对初期坝、堆积坝的结构尺寸、坝外坡度、马道及排水沟状况进行描述。同时应给出坝体和坝基的地质岩性及各类土质的物理力学性质，基岩表层风化程度及物理力学指标。根据上述资料，应用专门技术及方法对坝体稳定性进行验算，包括非常状态(灾害情况)的验算。如果上述计算的最小安全系数，以及坝体稳定分析计算图，稳定分析计算成果图及表均能满足规范要求，说明尾矿坝体是安全的。尾矿库的安全性还应对尾矿库防洪安全性进行分析，暴雨洪水是直接威胁坝库安全的重要因素。对特大型铀尾矿库的防洪演算，应用千年一遇暴雨洪水计算，用可能最大暴雨洪水(PMP)进行校核，以确保尾矿坝安全稳定。(撰写：潘英杰　审订：赵亚民)

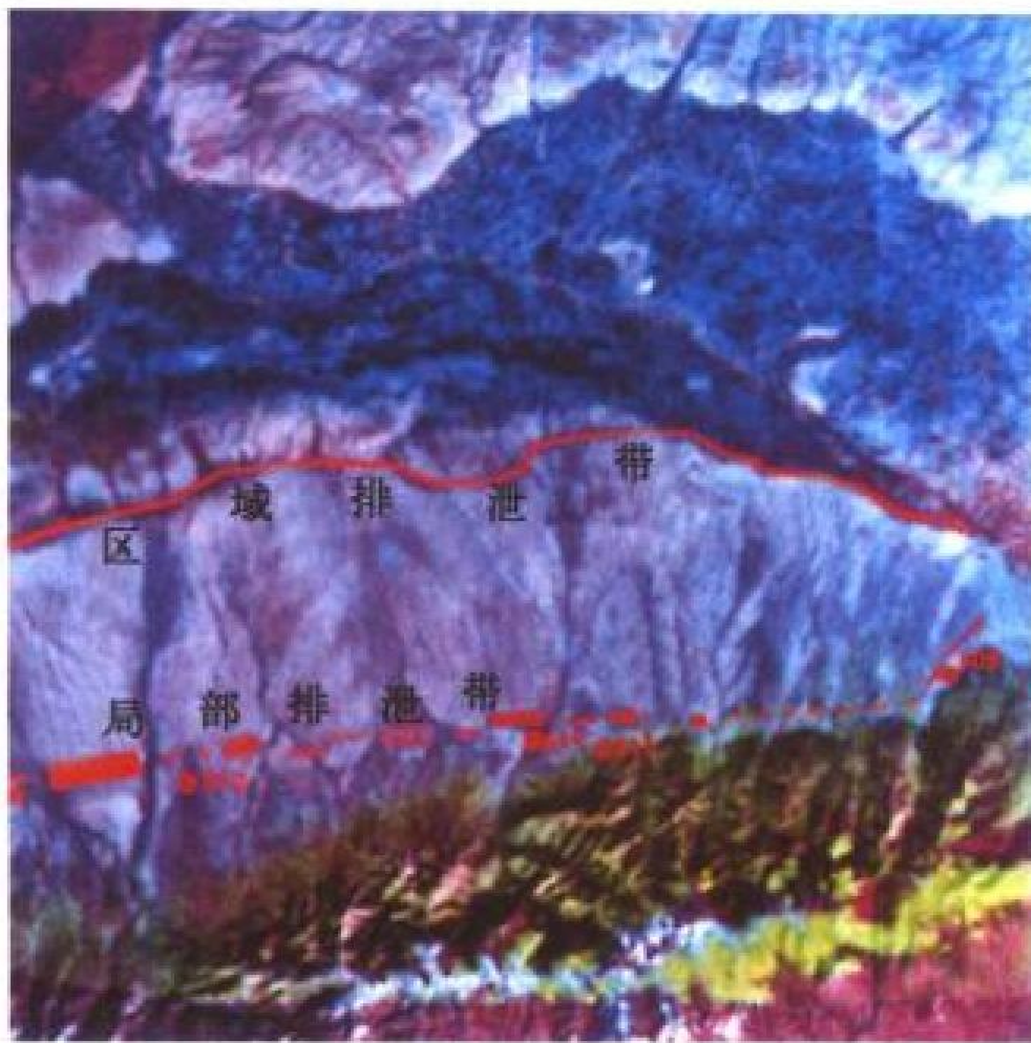
weikuangku anquan

尾矿库安全 safety of tailing pond　尾矿库(池)是贮存数量庞大的天然放射性废渣(尾矿)的设施。它包括坝体、容积庞

大的贮渣（液）的库（池），尾矿输送系统和防洪排洪设施等的完整工程体系，往往它还是一个高势能泥石流形成区。工程体系的任何一个环节发生故障和出现问题，都将威胁尾矿库的安全。小的可引起尾矿浆外泄，造成环境污染。大的甚至会造成垮坝，使大量尾矿浆就势而下，形成泥石流，直接危及环境公众的生命财产安全，并造成难以治理的大范围环境污染的严重事件，因此尾矿库的安全是一个致关重要的系统工程问题。无论尾矿库的硬件还是软件都必须强化，特别要设计和施工建造好坝体和防排洪工程，还要提高企业全员的安全文化素质，加强对尾矿库各环节的完全检查，及时发现和堵塞隐患漏洞，保证各种设施运转良好，确保尾矿库在非常情况下的安全稳定性和可靠的防排洪能力。同时还应根据核设施事故应急指导方针和铀尾矿库事故应急管理条例，做好尾矿库事故应急准备。　（撰写：潘英杰　审订：赵亚民）

weixing yingxiang jieyi

卫星影像解译　satellite image interpretation　从卫星图像识别和获取信息的基本过程。解译方法分计算机自动识别和目视解译。解译的难点是如何破译隐伏信息、深部信息和伪装信息。对于卫星影像地质解译而言，就是建立解译标志，在地质理论知识的指导下，从图像上识别地质体和地质作用现象，编制解译图，揭示其空间展布、运动特点及成因联系的工作过程。如在伊犁盆地卫星影像上解译出控制砂岩铀矿形成与分布格局的局部排泄带和区域排泄带（见图）。



伊犁盆地卫星影像

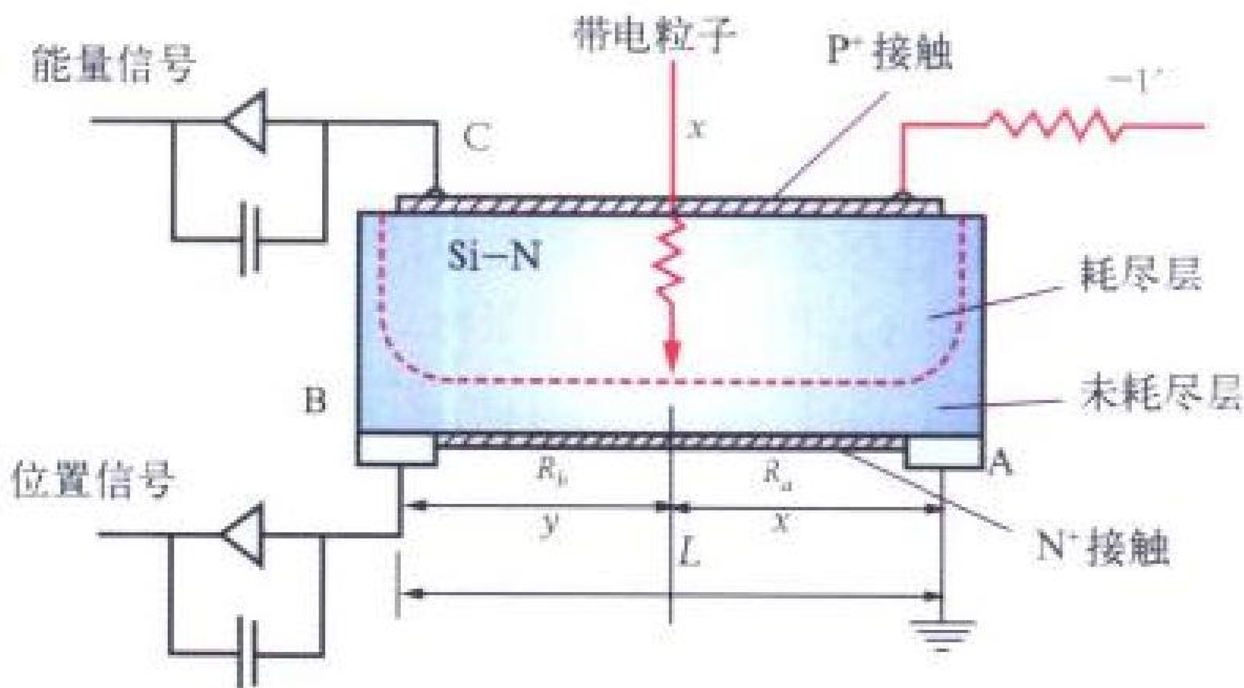
（撰写：何建国　审订：黄贤芳）

weineng tingdui de yuji yunxing shunbian

未能停堆的预计运行瞬变　anticipated operational transients without scram (ATWS)　压水堆核电厂发生预计运行瞬变而要求紧急停堆时未能停堆造成的事故。它的始发事件一般是二回路系统排出热量减少事件，其中以丧失正常给水及失去非应急交流电源最有代表性。另外，未能停堆的失控提棒事故，也需要考虑。这类事故的特点是反应堆冷却剂系统升温升压，特别是在蒸汽发生器蒸干后，升温升压尤为猛烈，如果设计不好，会造成不可接受的一回路系统超压。系统升温后堆芯内产生气泡，引入负反应性，可使事故受到一定限制。这种假想事故将考验核电厂的稳压器释放阀和安全阀的设计容量是否足够、稳压器波动管的位置是否合适、反应堆第二停堆系统的性能以及事故情况下的操作规程。此外，有些国家的核安全监管当局还要求核电厂设置"ATWS缓解系统启动线路"，当核电厂发生ATWS时，此线路应独立地触发辅助给水系统投入和汽轮机停机（延缓蒸汽发生器内水蒸干的时间）两种功能。以抑制一回路冷却剂系统的升温升压过程，使事故得到一定缓解。　（撰写：俞尔俊　审订：陈叔平）

weizhilingmin bandaoti tanceqi

位置灵敏半导体探测器　position sensitive semiconductor detector　一种可测量带电粒子位置和能量的半导体探测器。一维位置灵敏半导体探测器与普通半导体探测器的主要区别，是在其欧姆接触区上制备了一均匀的电阻层。一维硅位置灵敏探测器的工作原理是利用电荷分除，其结构如图所示。由于图中A和B之间有一层均匀分布的电阻层，所以在入射点x朝A和B电极流动的电流反比于电阻值R_b和R_a。A点接地，前级放大器的输入阻抗很小，因此，B点的输出信号与$\frac{ER_a}{R_b+R_a}\left(=E\frac{x}{L}\right)$成正比。在C点可得到能量信号。二维位置灵敏半导体探测器有棋盘式和分裂结构式两种。

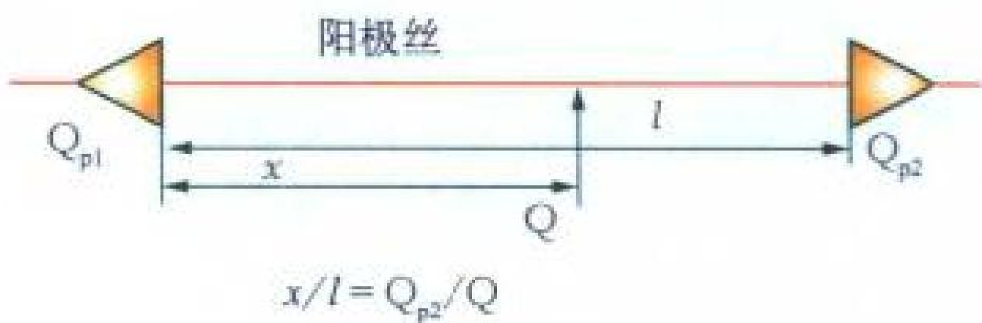


位置灵敏探测器示意图

（撰写：丁洪林　审订：李广将）

weizhilingmin zhengbi jishuguan

位置灵敏正比计数管　position sensitive proportional counter　用于测量射线位置的正比计数管。它实际上是一只普通的正比计数管，只是用一电阻丝做阳极而已。它有两种，一是高电阻丝（8～10 kΩ/mm）型，另一种是低电阻丝（约6 Ω/mm）型。前者是利用入射在不同位置的射线，产生的输出信号的上升时间有区别来定位的，它需要一种较难获得的特制电阻丝，成本较高又没什么优点，实际使用很少；后者只需使用普通镍铬电阻丝做阳极，位置分辨好，位置读出较容易，得到广泛应用。低电阻丝位置灵敏正比管是用电荷分配法读出位置信息的，设从阳极丝两端取出的信号电荷分别为Q_{p1}与Q_{p2}，则它们与总电荷之比和射线位置x有如附图中的关系。l为阳极丝长度。位置灵敏正比计数管在核物理、中子衍射、X射线衍射、天文学以及核医学等方面均有应用；与丝室相配合，它又是构成图像室等三维空间系统中不可或缺的一项技术。



位置读出原理图

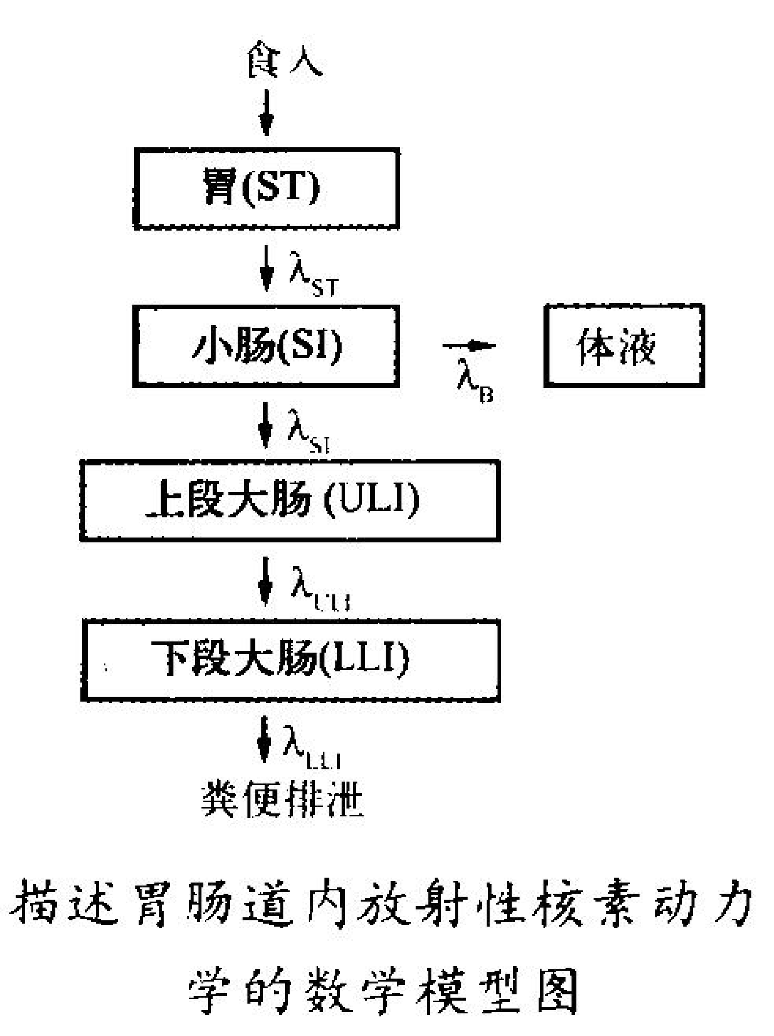
（撰写：彭华寿　审订：陈玉华）

weichangdao moxing

胃肠道模型　model for gastrointestinal tract　国际放射防护委员会（ICRP）在内照射剂量估算中用以描述放射性物质在胃肠道中转移过程的数学模型。该模型将胃肠道分为4个部分，即胃、小肠、上段大肠和下段大肠（见图）。在计算有效剂量时，这4个部分作为4个独立的隔室处理。物质从一个隔室

W

向另一个隔室的转移被假定为服从一阶动力学，隔室之间的转移速率常数 λ 在表中给出。该模型假定，小肠为物质从胃肠道被吸收到体液去的惟一部位。但当稳定元素在食入后到达体液的分数 f_1=1 时，则是假定放射性物质由胃直接进入体液而不通过胃肠道的其他部分。ICRP 用该模型计算工作人员食入放射性核素产生的剂量，由于缺乏有关数据，也将其用于公众成员中的婴儿、儿童和成人。目前，ICRP 正在制定新的人胃肠道模型。



描述胃肠道内放射性核素动力学的数学模型图

胃肠道内放射性核素动力学模型中的主要参数的数值

（引自 ICRP 第 78 号出版物，1997）

胃肠道各段	平均留驻时间 /h	λ/d^{-1}
胃 (ST)	1	24
小肠 (SI)	4	6
上段大肠 (ULI)	13	1.8
下段大肠 (LLI)	24	1

（撰写：周永增　审订：李素云）

wen shiyan

温实验　warm test　用比活度为生产实际热物料几十分之一至几百分之一的放射性物料，对某种方法、过程、仪器和设备所进行的实验。在乏燃料后处理各个阶段（包括实验室研究、台架实验和工厂试运行）的实验中，在铀或钍中加入一定量的钚、镎或裂变产物所配制的物料所进行的实验属于温实验。温实验应在一定的屏蔽、密闭和通风条件下进行，实验人员应穿戴必要的防护用品，并对实验人员、工作场所的放射性剂量、污染水平实行监测。通过温实验，可以取得较为接近实际情况的数据，摸清规律，发现问题，为热实验做准备。　（撰写：章泽甫　审订：朱永赌）

wenjian kongzhi

文件控制　document control　对工作（包括管理、执行和评价）所用的文件的制定和使用过程实施系统地管理。文件包括程序、规程、技术规格书、图纸以及其他描述过程、确立要求的其他介质。文件的制定和使用过程包括：制定审查、批准、发行、分发，授权、修正以及必要时的确认。所有制定、审查或批准文件的人员有权得到有关的输入信息；而应用文件的人必须得到适宜的和正确的文件。

（撰写：董柏年　审订：张　健）

wending tongweisu

稳定同位素　stable isotope　某种元素中不发生或极不易发生放射性衰变的同位素。稳定同位素的原子核不发生或极不易发生放射性衰变，即使运用现代放射性探测手段也无法检测出放射性衰变，如 ^{1}H、^{12}C 等。有些稳定同位素（如 ^{2}H、^{6}Li 等）是当前具有重要价值的核材料；另一些稳定同位素（例如 ^{59}Co、^{98}Mo 等）是制备放射性同位素的靶子；更多的稳定同位素广泛地用作示踪物质在地球科学、天文学、考古学、生态学、食品、农业、药物、医学、物理、化学等领域的科学研究中发挥着重要作用。　（撰写：吕延晓　审订：卢玉楷）

wending tongweisu yingyong

稳定同位素应用　application of stable isotopes　在工业、农业、医学、国防建设和科学技术中使用被富集了或被剥淡了的稳定同位素（即某种稳定同位素的含量与其天然的含量不同）。稳定同位素应用严格说应称为稳定核素应用，大致可分为以下几方面：(1) 作示踪原子用。在同位素稀释法中被富集或被剥淡的稳定同位素作为一种示踪剂，根据其丰度的变化可作为确定物质含量的分析手段。此外，在医学上 ^{13}C 含量的测定（$^{13}CO_2$ 呼气检查法）可以诊断某些疾病，如有否幽门螺旋杆菌等，^{15}N、^{18}O 等在农业科学研究中被广泛使用。(2) 作材料用。^{10}B 与 ^{11}B 的中子俘获截面的巨大差异，可用来改变核反应堆控制棒 ^{10}B 吸收中子的效率。剥淡的锌（^{64}Zn 在 5% 以下）有助于保护核反应堆的回路管，防止 ^{60}Co 进入内循环；(3) 制备高比度高纯度的放射性核素。经富集的稳定核素常用于制备高比度和高纯度的放射性核素。如在医学中采用富集 ^{124}Xe 或 ^{123}Te 作为制备 ^{123}I 的靶材料；医用放射性核素 ^{201}Tl 和 ^{99}Tc 则分别由稳定核素 ^{203}Tl 和 ^{98}Mo 制得。

（撰写：应纯同　审订：刘广均　吕延晓）

wenpu jishu

稳谱技术　spectrum stabilization technique　稳定核谱谱形的技术。由于种种原因，长时间工作的谱仪系统的道址—能量对应关系会发生变化，使谱形分辨率变坏，峰位移动，此时常用稳谱技术使系统满足稳定性指标。通常使用两个标准参考信号或参考峰，分别位于高道址和低道址区。大参考信号或高道址峰作为调节变换增益的基准，小参考信号或低道址峰作为调节零点的基准。对于线性放电法的模数变换，调节变换系数通常是调节线性放电电流，调节零点通常是调节模数变换的零道阈。

（撰写：倪建平　审订：席德明）

wenyaqi

稳压器　pressurizer　用于稳定和调节反应堆冷却剂系统工作压力的设备。在工作状态下，稳压器内的工质（蒸汽和水）保持着两相平衡的饱和状态。调节工质的温度即能控制稳压器内的压力。压水堆核电厂都采用电加热立式稳压器。它由容器、电加热元件、波动管座、喷雾器、卸压阀和安全阀等组成（见图）。喷雾器和卸压阀用来抑制压力升高。电加热元件用来抑制压力下降。安全阀则进行反应堆冷却剂系统的超压保护。反应堆冷却剂平均温度变化时，稳压器通过波动管进行系统内冷却剂的体积补偿。稳压器的水位可通过改变化学和容积控制系统的上充流和（或）下泄流进行调节。



电加热立式稳压器

（撰写：杜圣华　审订：张维忠）

wuran

污染 contamination 放射性物质存在于物体表面或固体、液体、气体内(包括在人体中)，这种存在是不希望的。一般，表面污染指放射性物质在表面的量超过 0.4 Bq/cm^2(对β，γ和低毒性 α 辐射体)或 0.04 Bq/cm^2(对所有α辐射体)。因物体所处的环境不同、系统和设备运行条件及运行历史不同，被污染的概率和程度会有很大的差别。就存在于物体表面的污染而言，可根据污染的机理和去除的难易程度，分为非固定性污染和固定性污染。放射性污染形成的机理可分为：(1)放射性固体微粒或放射性液滴沉积和附着作用；(2)放射性核素的吸附和离子交换作用；(3)表面静电作用；(4)放射性核素的扩散渗透作用。 (撰写：王显德 审订：孙东辉)

wuranwu chuli jishu

污染物处理技术 pollutant treatment technology 旨在改变污染物的物理和化学特性，以降低或消除其危害作用的各种技术。如降低其毒性，改变其燃爆性、糜烂性、扩散性、迁移性、溶解性、降解性、积累性，减少其体积和重量，使之适于运输、贮存和处置，或可以得到再利用等。污染物主要是人类的生产和生活活动中产生的有害物质。在核工业和核科学技术活动中，可能产生放射性废气、放射性废液和固体放射性废物。这些废物除有放射性危害作用外，可能还伴随非放射性毒物。它们中的放射性水平可能差别很大。有的放射性水平可能很高，如高放废液；有的可能放射性水平很低，如混凝土废物；有的可能体积很大，如铀钍矿废石、铀矿冶尾矿。放射性污染物处理技术很多，对于放射性废气，主要是衰变贮存和各种形式的过滤。对于放射性废液，有沉淀法、絮凝法、蒸发法、离子交换法、反渗透法、电渗析法、磁过滤法、超滤法等。对于固体废物，有压实法、焚烧法、去污法、熔融法和各种固化方法。对于放射性污染物件，主要靠去污，降低其污染水平。

(撰写：李学群 范智文 审订：罗上庚)

wuran wujian quwu

污染物件去污 (radioactive) decontamination from articles contaminated 受到放射性污染的物件经过去污处理使之降低污染水平的行为。污染物件再利用是减少放射性废物量的措施，同时又可以节省社会资源，是国际社会提倡的作法。在核设施退役过程中，许多设备及物件可经去污达到复用的程度。在去污中，既要求去污效果好，又要防止产生二次污染。产生的少量二次废物需要妥善收集和保管。经去污后拟复用的设备或物件在使用前需经放射性监测，需运出核设施外使用的物件及设备，尚须获审管部门的监测合格证件。不同的设备或物件，不同的污染核素，可能需不同的去污技术。为有效去污，应加强去污试剂和去污技术的开发研究。在国外已出现专门去污行业。国内已经开始起步，应逐步完善和健全。 (撰写：赵亚民 审订：罗上庚)

wuran zhengzhi yaoqiu

污染整治要求 requirements of pollution remediation 对核活动和伴生放射性活动造成的污染进行整治作业中，所要达到的辐射方面和非辐射方面的要求。整治包括铀矿冶尾矿坝的稳定化、核设施的退役与去污、核活动污染场址的清除和环境整治，以及对过去实践的补救等。此外，还应包括核技术应用污染的治理和伴生放射性活动所造成的放射性污染的整治。其基本要求是辐射防护基本原则，此外，还因整治活动目标的不同，具有适宜于个例情况的导出性要求，包括辐射方面的和工程方面的。要求具有一定的层次性，如国家规定、标准、行业要求和企业管理目标值等。总之，所有要求应是以辐射防护与安全基本原则为基础的、且经过有关审管批准和授权的。

(撰写：李学群 范智文 审订：罗上庚 陈式)

wuhewuqi guojia

无核武器国家 no-nuclear weapon state (NNWS) 在 1967 年1月1日前没有制造和爆炸过核武器或其他核爆炸装置的国家。无核武器国家是《不扩散核武器条约》(NPT)的参约国，并有义务与国际原子能机构(IAEA)签订全面核保障协定，以保证其申报的民用核材料不转用于军用目的，并在加强保障措施中同意核查在该国不存在未申报的易裂变材料生产设施。 (撰写：金惠民 审订：严叔衡)

wuji lizi jiaohuanji

无机离子交换剂 inorganic ion exchanger 能与溶液中的离子进行交换，使离子从溶液中分离的一些难溶无机化合物的总称。与之相对应的是有机离子交换剂，即离子交换树脂。人工合成的无机离子交换剂与离子交换树脂相比具有耐高温、耐辐照的优良性能，在放射化学分离工作中得到了实际应用。合成无机离子交换剂主要有以下四类：(1)水合氧化物，如水合二氧化钛可从海水中吸附铀，水合五氧化二锑可从裂变产物中分离 ^{90}Sr；(2)多价金属酸式盐，其中典型的是磷酸锆(简称 ZrP)，已用来净化反应堆冷却剂及从高放废液中分离 ^{137}Cs；(3)金属杂多酸盐，其中研究得最多的是磷钼酸铵(AMP)，它对碱金属有很好的选择性，可从裂变产物中分离 ^{137}Cs；(4)不溶性亚铁氰化物，已经研究过近 20 种离子形成的亚铁氰化物，重要的有钴、镍、锌、铜等，主要用于 ^{137}Cs 的提取。 (撰写：郭景儒 审订：崔安智)

wuji shanshuoti

无机闪烁体 inorganic scintillator 一种由无机物质组成的闪烁体。无机闪烁体主要有三类：(1)无机晶体闪烁体。它们多数含有少量激活剂，其中特别重要的是金属卤化物。常用的有碘化钠(铊)[NaI(Tl)]、碘化铯(铊)[CsI(Tl)]，碘化铯(钠)[CsI(Na)]，碘化锂(铕)[LiI(Eu)]，氟化钡[BaF_2]等。其次是硫化锌(银)[ZnS(Ag)]，氧化锌(镓)[ZnO(Ga)]等，还有钨酸钙[$CaWO_4$]，锗酸铋[$Bi_4Ge_3O_{12}$，简写为 BGO]等。这类闪烁体的主要特点是：原子序数高、密度大，对射线的阻止本领大，探测器效率高，能量转换效率较高，能量线性响应范围较宽，对自身发光的透明度好；该类闪烁体的大多数闪烁衰减时间较长。(2)玻璃闪烁体(参见玻璃闪烁体)。(3)气体闪烁体(参见气体闪烁探测器)。

(撰写：汲长松 审订：彭华寿)

wuxian jiezhi zhongzi zengzhi yinzi

无限介质中子增殖因子 infinite medium neutron multiplication factor 在无限大增殖介质内中子增殖过程中第二代中子数与第一代中子数之比。在热中子堆中，无限大介质中子增殖因子用四因子公式表示，即 $k_\infty=\varepsilon\eta f p$，其中 η 是燃料每吸收一个热中子所产生的平均裂变中子数，ε 是快中子裂变因子，p 是逃脱共振俘获概率，f 是热中子利用系数。对于快

W

中子堆或中能中子堆，p 和 f 都失去意义，因此 k_{∞} 要用另外的表达式。在无限大介质中，自持链式反应的条件就是 $k_{\infty}=1$。（撰写：史永谦　审订：罗璋琳　许汉铭）

wuxianyuan moshi

无限源模式　infinite source exposure model　核设施排出的放射性气载污染物在大气中经由输运扩散而形成空间不同的浓度 (C) 的分布，即 $C(x, y, z, t)$，又称为无限放射性烟羽模式 (infinite radioactive plume exposure model)。人浸没在这种大气下除吸入外还会受到放射性核素的 β、γ 射线的外照射。当描述放射性烟羽空间分布的特征尺度 σ_y 和 σ_z (σ_y 是烟羽的水平横截风向扩散参数，m；σ_z 是烟羽垂向扩散参数，m) 与 γ 射线在大气中的线性衰减系数 μ, m^{-1} 有下述关系时，可以认为存在辐射平衡条件

$$\frac{1}{\mu} \ll (\sigma_y \sigma_z)^{1/2}$$

即单位体积的污染空气中放射性核素放出的 γ 射线能量等于该单位体积空气的吸收能量。这种计算浸没照射的模式称为无限烟羽 (源) 浸没照射模式。所以照射剂量率为

$$\dot{D} = C^{*}DF$$

式中 C^{*} 是空气中的放射性核素浓度，Bq/m^3；DF 是该核素的浸没照射剂量换算因子 $[Sv \cdot m^3/(Bq \cdot s)]$。

（撰写：张永兴　审订：胡逢全）

wuyanxing zhuanbian wendu

无延性转变温度　nil-ductility transition temperature (T_{NDT})　又称脆性转变温度。材料由延性断裂 (断口为纤维状) 完全转变为脆性断裂(断口大多呈解理形貌，有时也呈沿晶形貌)时的温度。在工程上以落锤试验中试样发生断裂的最高温度来度量。无延性转变是体心立方金属 (如铁素体钢) 的重要特征。由于这种现象的发生与材料中位错的热激活运动有关，因此影响材料 T_{NDT} 的主要因素是化学成分、微观组织及热处理工艺。辐照产生的大量晶格缺陷也可使材料的 T_{NDT} 升高。以压力容器钢为例，在中子 ($E > 1$ MeV) 注量 $10^{19}cm^{-2}$ 时，该温度约升高 24～93℃。在实用中通常采用夏比V形缺口冲击试样来测定参考无延性转变温度 (RT_{NDT})。具体做法是：(1) 先设定一个等于或略高于 T_{NDT} 的温度；(2) 然后在比它高 33℃ 的温度下完成一组 (3 个试样) 冲击试验，若每个试样的吸收能量均大于 68 J，侧膨胀量大于 0.89 mm，则该设定温度就是 RT_{NDT}；(3) 若不满足 (2) 中的要求，再进行一组补充试验。

（撰写：徐远超　审订：李文琰）

wuyan gongyi

无盐工艺　salt-free process　水法乏燃料后处理过程中不采用或尽量避免采用金属盐类试剂以减少放射性废物量的工艺。过去的水法乏燃料后处理流程用 $NaNO_2$ 作四价钚的价态调节，用 $Fe(SO_3NH_2)_2$ 作三价钚的还原剂，用 Na_2CO_3 作废有机溶剂的洗涤剂，这些钠盐和铁盐进入高、中放废液，增加了放射性废液量和处理难度。无盐工艺用 N_2O_4 代替 $NaNO_2$，用电解还原或羟胺代替 $Fe(SO_3NH_2)$，用 $(NH_4)_2CO_3$ 代替 Na_2NO_3。无盐工艺中所用化学试剂的反应产物及其过剩残留物破坏时的产物是气体和水，不在废液中留下难以分解的物质，由此可以实现废液的高倍浓缩，减少废液体积，简化废液的处理和贮存。无盐工艺已在现代后处理过程中广泛采用。

（撰写：何建玉　审订：朱永赌）

W

wuyou zhenkong xitong

无油真空系统　oil-free vacuum system　在真空条件下实行某种工作过程的真空容器或设备及与其相连的包括歧管、管道、泵、阀、阱和挡板等真空部件，真空测量、分析和控制用的部件，真空内外传动和馈电的部件，真空密封件以及在真空内部为工作过程所需的装置和工夹具等组成的总体中，与真空相接触的部分不含任何矿物或合成的油、油脂及有机材料的系统。（撰写：陈文奎　审订：关遐令）

wuzaiti

无载体　carrier-free　不伴有、不加入任何稳定核素又能独立存在的一种放射性核素状态。它常用来作为放射性核素制剂的指标或规格，表示在制剂中不存在该核素的稳定同位素。当用 (n, p)、(n, α)、(n, f)、(p, n) 等核反应制备放射性核素时，生成的核素与靶材料具有不同的原子序数，是不同的元素，经放化分离可制得无载体核素。(n, γ) 反应生成的放射性核素与靶子物质是同一个元素，化学方法无法将两者分离，得到的就是有载体放射性核素制剂。

（撰写：郭景儒　审订：崔安智）

wuqihua

武器化　weaponization　武器原理性装置经试验考核成功后需要进行的工程研制使之成为满足预定战术技术性能的、可以作战使用的武器的全过程。此词适用于如核武器等的复杂武器装备。核武器在物理设计和进行试验装置制造时就可结合考虑一些武器化要求，如构型要求、核点火和抗核加固要求等。尽量使这些因素一并在核试验中进行考核。武器化工作一方面包括结构布局、强度计算与运载工具的协调配合和多项环境模拟试验；另一方面包括引爆控制系统、核点火系统等的研制和飞行鉴定。然后运用已取得的各项试验数据对核武器是否满足规定的战术技术性能进行分析评估，最后根据这些评估结果和各项必要文件的质量和完整性等情况做出能否定型的鉴定。鉴定合格后方能进行生产。

（撰写：俞大光　审订：郑绍唐）

wuqiji yiliebian cailiao

武器级易裂变材料　weapon-grade fissile material WgFM　最适合于制造核武器的易裂变材料，通常指 ^{235}U 丰度大于 90% 的高浓铀或 ^{240}Pu 含量小于 7% 的钚。

（撰写：金惠民　审订：严叔衡）

wuqi zhuangbei de zaoqi hefushe fanghu

武器装备的早期核辐射防护　weapon and equipment protection from initial nuclear radiation　避免或减轻武器装备等遭受早期核辐射破坏的防护措施。装甲车辆由于含锰，受中子照射后能产生感生放射性 (履带部位最强)；武器装备上的光学玻璃，受大剂量照射后会变色，从而影响观测、瞄准；照相感光器材受照后会影响使用质量，严重的会失效；主副食品中含盐量大的，受中子照射后可能产生感生放射性而影响食用；含钠、钾、磷、硫、铜等元素的药品，受中子照射后会产生感生放射性而失效；半导体器件受大剂量照射会改变性能导致武器装备受损或失效。防护措施：能置于工事中的，入工事；露天配置时，应加屏蔽层，以减少受照剂量。已产生感生放射性的武器装备、食品、药品，尽量推迟至放射性衰减至“允许”程度后再使用。（撰写：王坚　审订：毛用泽）

wuli quwu

物理去污 physical decontamination　利用机械方法去除或降低物体表面放射性污染的过程，又称机械去污。物理去污通常分为表面净化和表面去除。表面净化只去除表面污染物而不除去表面本身，适用于设备和建筑物的表面去污，常用的方法有清扫、吸尘、擦洗和洗涤等。表面去除会对表面造成一定的损害，但去污效果好，通常用于大型金属设备的去污和准备再利用的建筑物的去污，采用的方法有高压射流、粗琢、钻凿和剥离等。物理去污应重视气溶胶污染物的释放和冲洗废水及冲下碎屑的收集。

（撰写：王显德　审订：孙东辉）

wutan yichang de jieshi

物探异常的解释 interpretation of geophysical anomaly; geophysical anomaly interpretation　对工作区地球物理异常场进行地质解释，推断物探异常产生的原因，并提供找矿远景或矿体特征的定性或定量信息。物探异常解释的主要原则是：(1) 以地质为依据：熟悉工作区内岩性(体)与断裂构造分布特点、控矿因素、成矿特征和不同地质体的物性是正确解释物探异常的基础；(2) 从已知到未知：从已知地区显示的物探异常与地质条件的规律性关系，类比延伸推向地质条件相似或相近的未知区；(3) 综合解释：物探成果反演往往都是多解的，利用多种物、化探测量成果综合解释，才能使解释的准确性和可靠性增强。

（撰写：蒋永一　审订：李家俊）

wuxiang

物项 item　材料、零件、部件、系统、构筑物以及计算机软件等的通称。

（撰写：董柏年　审订：张 健）

wuzhi fushe butoumingdu

物质辐射不透明度 radiative opacity of matter　光在物质中传播受阻程度的度量。与不透明度对应的名称为辐射平均自由程，它等于物质密度乘以不透明度再取倒数，其意义是：光子在两次碰撞事件之间走过的平均距离。辐射不透明度是由光子同物质粒子相互作用决定的。通常要考虑：光电吸收、线吸收、自由电子逆韧致吸收和自由电子对光子散射等 4 种过程。有些物理问题只要求知道对谱的平均值：对于光性厚系统，用罗斯兰德 (Rosseland) 平均；对于光性薄系统则用普朗克 (Planck) 平均。

（撰写：孙永盛　审订：常铁强）



X γ cankao fushe

X,γ参考辐射 X and γ reference radiation 辐射防护X，γ参考辐射是适用于校准防护水平X，γ剂量仪、剂量率仪的辐射，它由四组参考辐射组成：(1)能量范围约7～250 keV的连续谱过滤X辐射和^{241}Am γ辐射；(2)能量范围约8～100 keV的荧光X辐射；(3)能量范围约600 keV～1.3 MeV的核素γ辐射；(4)能量范围约4～9 MeV由反应堆和加速器产生的γ辐射。(1)组辐射是利用X射线机产生的X射线经过不同材料（一般为铝、铜、锡、铅）和厚度组合的附加过滤产生不同分辨率的参考辐射。其谱为连续谱称为连续谱过滤X辐射。过滤越重(衰减比大)，分辨率越高（谱窄），同时输出量（空气比释动能率）也越低。ISO 4037-1推荐了四个系列连续谱过滤X辐射。分别是低空气比释动能率，窄谱，宽谱和高空气比释动能率辐射。它们以平均能量和分辨率表征。(2)组辐射是利用X射线机产生的X射线激发不同核素原子产生特征X射线（次级辐射），主要利用K_α射线，它是线谱称为荧光X辐射。为提高其纯度还要把K_β和K_1射线过滤（次级过滤）掉。ISO推荐了16种材料的荧光X辐射。(3)组辐射主要是利用^{60}Co和^{137}Cs的核素γ辐射。(4)组则是利用不同的核反应和中子俘获释放的不同能量的γ射线。其中^{19}F (p, α, γ) ^{16}O产生的6.13 MeV γ射线较易产生，用途也较大，如核电厂由于氧的活化产生6.13 MeV γ射线。这些建议的参考辐射含盖了7 keV～9 MeV的光子辐射，空气比释动能率范围为10 μGyh^{-1}～10 Gyh^{-1}，对散射辐射和辐射场的均匀性也有一定要求。各剂量校准实验室应从其中选择辐射用于校准剂量仪和剂量率仪及确定它们的能量响应和角响应。这对于保证剂量的量值统一和建立可比性是非常有益的。

（撰写：李景云　审订：容超凡）

X shexianfuzhao yinqi de lixuesunshang

X射线辐照引起的力学损伤 mechanical damage induced by X-ray irradiation X射线辐照目标后表层材料产生冲击波和结构振动对目标的破坏作用。高空核爆炸产生的X射线照射固体表面时，大部分能量在表面薄层内被吸收，并使压力升高，形成具有陡峭阵面的热击波，同时引起目标的结构振动。热击波生成后在靶材中传播，超压大于一定强度时会使目标表面材料产生层裂破坏，破坏形体类似于不同厚度的云片糕，结构振动强烈时会造成目标的整体破坏。当飞行器遭到一定强度的脉冲X射线照射时，壳体材料可能出现层裂，结构破坏而使飞行器解体。非核脉冲型定向能武器(如激光)对飞行器的破坏作用，其过程相似。（撰写：乔登江　审订：吕敏）

X shexian jiguang

X射线激光 X-ray laser 波长位于X射线波段的激光。通常激光器由抽运源、激活介质和谐振腔组成。目前的X射线激光抽运源主要采用波长为微米左右的高功率激光或高压放电装置；激活介质是等离子体，并采用单程行波放大或用双程放大的简单光腔。类氖和类镍离子电子碰撞激发X射线激光实验已在美国、中国、英国和日本等国实现饱和增益，波长逐步缩短进入“水窗”(4.4～2.3 nm)。目前正在开展多种脉冲抽运方式、离子团簇为激活介质、小型化等多方面研究，其效率也在不断提高。可用于高能量、高密度等离子体状态和生物活细胞全息照相等诊断。

（撰写：彭惠民　审定：常铁强）

X shexian zhengbi jishuguan

X射线正比计数管 X-ray proportional counter tube 一种带有能透过X射线的入射窗的正比计数管。计数管的初始电离是由入射的低能X射线或软γ射线与计数管所充气体相互作用产生的。入射窗一般为侧窗或端窗，部分计数管还有出射窗。入射窗的材料和厚度根据X射线的能量来选择，常用材料为有机薄膜、铝箔、铍片和云母。计数管的形状一般为圆柱形、长方形或鼓形。计数管有密封式和流气式两种。所充气体为惰性气体(如氖、氩、氪、氙)加少量的猝灭气体（如CH_4, CO_2, N_2等）。与闪烁探测器相比，计数管的能量分辨率较好，能量线性范围宽、信噪比高、温度效应较小。X射线正比计数管广泛应用于天文、地质、冶金、医学、材料科学、机械加工和环保等领域。（撰写：杨继明　审订：陆双桐）

xifu gongchendian

吸附共沉淀 adsorptive coprecipitation 常量组分沉淀具有发达表面时，溶液中的微量组分被吸附在沉淀表面上的过程。根据常量组分沉淀性质的不同，吸附共沉淀又可分为在离子晶体上的吸附共沉淀和在无定形沉淀上的吸附共沉淀。目前后者比前者应用更广。其吸附效率与沉淀的组成、性质、沉淀方式及熟化时间等因素有关。放射化学分离中广泛应用的清除剂就是利用无定形沉淀上的吸附共沉淀作用。

（撰写：罗文宗　审订：崔安智）

xifu quxian

吸附曲线 adsorption curve 又称负载曲线。在固定床吸附中，将流出液中被交换离子铀的残余浓度对通过的溶液体积(以树脂床体积倍数表示)作图所得的曲线。曲线上两个特殊点分别为穿透点和饱和点，并按此曲线可求得树脂的穿透体积、穿透容量及饱和体积、饱和容量。穿透点之前的流出液称穿前液可尾弃，穿透后的流出液需再进行吸附处理，该曲线的形状与试验条件有关。在铀水冶工艺中，一般把吸附曲线上铀浓度约为3～5 mg/L的点称为穿透点，相应的流出液体积称为穿透体积；把流出液浓度接近吸附原液浓度（约95%）的点称为饱和点，相应流出液体积称为饱和体积。（撰写：许根福　审订：关自斌）

xishou

吸收 absorption 辐射(射线或粒子束)在物质中由于种种过程而使其辐射量下降的现象。由于各种辐射与物质的相互作用不同，其吸收现象的特征有所不同。例如带电粒子、尤其是重离子，在穿过物质时的吸收主要表现为损失动能，在

其穿行的末端，由于动能完全损失而不再作为自由粒子存在（参见带电粒子与物质的相互作用）。对 γ 射线而言，康普顿散射仅仅造成光子能量损失，而光电效应和电子对产生效应使入射光子消失（参见γ射线与物质的相互作用）。辐射的吸收现象被用来屏蔽有害辐射的照射。

（撰写：许谨诚　审订：丁大钊）

xishou jiliang

吸收剂量　absorbed dose (D)　$d\bar{\varepsilon}$ 除以 dm 而得的商，即

$$D = d\bar{\varepsilon} / dm$$

式中 $d\bar{\varepsilon}$ 为电离辐射授予质量为 dm 的物质的平均能量。吸收剂量的单位为焦耳每千克（$J \cdot kg^{-1}$），专用单位名称为戈瑞(Gy)。作为点函数的吸收剂量 D 的定义允许其具有空间变化以及在感兴趣点上按传能线密度而分布的特性。

（撰写：董柳灿　审订：潘自强）

xishou jiliangl ü

吸收剂量率　absorbed dose rate ($\dot{D}$)　dD 除以 dt 而得的商，即

$$\dot{D} = dD / dt$$

式中 dD 为时间间隔 dt 内吸收剂量的增量。吸收剂量率单位为焦耳每千克秒（$J \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$），专用单位名称为戈瑞每秒（$Gy \cdot s^{-1}$）。　（撰写：董柳灿　审订：潘自强）

xishou xishu

吸收系数　absorption coefficient　表征物质对辐射的吸收能力的一个物理量。定义为垂直通过足够薄介质层的准直辐射束与物质相互作用中，辐射通量密度 I 的相对减弱 $\Delta I/I$ 除以介质层厚度 Δx，以 μ_{abs} 表示。在核物理中，Δx 通常以长度或单位面积的质量表示，μ_{abs} 相应地称为线吸收系数和质量吸收系数。该物理量经常用于核辐射的剂量学计算和辐射屏蔽计算。它与辐射的种类以及物质的原子或核素组成有关，是辐射能量的函数。　（撰写：许谨诚　审订：丁大钊）

xi wote

希[沃特]　sievert (Sv)　是剂量当量、当量剂量和有效剂量等的国际单位制(SI)单位专用名称。

$$1Sv = 1J \cdot kg^{-1}$$

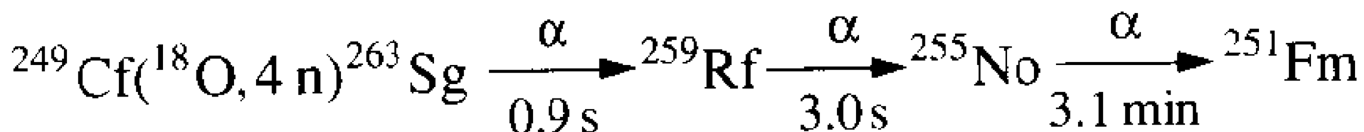
曾使用过的单位专用名称为雷姆（rem），现已不能使用，其两者之间的关系

$$1\ Sv = 100\ rem。$$

（撰写：董柳灿　审订：陈竹舟）

xi

𬭳　seaborgium　一种人工放射性元素，化学符号 Sg，原子序数 106，属周期系 Ⅵ B 族。半衰期最长的同位素是 ^{265}Sg (20 s)。为纪念美国核化学家 G.T.西博格（Seaborg）而命名。1974年苏联 Г.Н.弗廖罗夫（Флёров）等用加速器加速的铬离子（^{54}Cr）轰击铅靶（^{207}Pb 和 ^{208}Pb），通过下述核反应合成了 ^{259}Sg：$^{207}Pb(^{54}Cr, 2n)^{259}Sg$，$^{208}Pb(^{54}Cr, 3n)^{259}Sg$。几乎同时，美国 A.吉奥索（Ghiorso）和 G.T.西博格等用加速器加速的氧离子（^{18}O）轰击 259 μg 的锎靶，通过下述核反应合成了 ^{263}Sg，并用测量 ^{263}Sg 的衰变链子体的方法进行了鉴定。



$$^{249}Cf(^{18}O, 4n)^{263}Sg \xrightarrow[0.9\,s]{\alpha} {}^{259}Rf \xrightarrow[3.0\,s]{\alpha} {}^{255}No \xrightarrow[3.1\,min]{\alpha} {}^{251}Fm$$

（撰写：张志尧　修订：罗文宗　审订：崔安智）

xitong diancimaichong

系统电磁脉冲　system generated electromagnetic pulse (SGEMP)　核爆炸产生的 X 射线、γ辐射作用于电子系统中激励的电磁场。当 X 射线、γ辐射照射金属腔体时会在系统表面发射光电子，产生空间光电子流和被照系统表面的面电流，从而激励出强的电磁场。当 X 射线照射金属腔体时，被照的一侧向外发射出光电子，这侧带正电，另一侧带负电、电力线环绕金属腔体。由于电荷分布的不平衡，腔体表面产生置换电流。它的特点是在金属腔体的两侧向同一方向流动。系统上的面电流对表面上的缝隙、天线等部位能产生很强的电磁场，耦合进入电路造成电磁系统的损伤或干扰。系统电磁脉冲强度和特性主要取决于辐照源的特性、系统的几何形状和表面材料的性质等。由于其激励源是系统本身所产生的电子流，所以系统电磁脉冲无法用电磁屏蔽的手段进行防护。

（撰写：华　鸣　审订：乔登江）

xitong fenxifangfa

系统分析方法　systematic analysis approach (SAA)　预计放射性核素从载带介质（空气或水）进入环境后，经由生态或生物体系（如陆地生态体系或水生生态体系）等暴露途径、最终进入人体器官或组织中，对公众成员所致平均剂量的一种数学方法；该方法中考虑了转移过程对时间的依赖关系，不存在稳态平衡浓度，需用联立方程组来描述，因而通常必须用计算机才能求解。它是用一组相连的隔室来模拟放射性核素由载带介质向人体器官或组织转移时特定环境中的动力学行为。每一隔室表示这一过程中的一个环节，并且都和一个浓度值联系起来；由相邻隔室中的放射性核素的浓度值之比，定义相应的转移系数或转移函数，其数值与时间有关。系统分析方法是对真实体系动力学概念上的近似描述，适用于各类放射性核素排放情况；但因其计算复杂，主要还是用于事故排放和排放率急剧变化以及气象等环境状况随时间变化很大的情况（参见浓集因子方法）。

（撰写：张永兴　审订：胡逢全）

xitong he bujian de kekaoxing sheji

系统和部件的可靠性设计　design for system and component reliability　可靠性是指系统和部件在规定条件下和规定时间内完成规定功能的能力，以概率来度量。在核设施中执行安全功能的系统和部件都必须达到和保持与其重要性相当的可靠性，有些安全系统还采用最大不可用率的限值作为基准或接受准则。为保证达到应有的可靠性，在设计中需考虑采取多种措施。这些措施是：(1) 设备的多重性；(2) 遵守单一故障准则；(3) 应用多样性原则；(4) 采用独立性原则（功能隔离和实体分隔）；(5) 应用故障安全原则；(6) 辅助设施应具有相应的可靠性；(7) 减少共因故障；(8) 计及设备停役的影响。　（撰写：俞尔俊　审订：陈叔平）

xibao diaowang

细胞凋亡　apoptosis　又称程序性细胞死亡（programmed cell death, PCD）。多细胞组织的分化细胞在一定条件下启动内在编码的自杀程序来完成自杀性死亡的一种生理过程。凋亡和坏死是有区别的，凋亡的特征是由细胞自主控制的细胞死亡，这样导致细胞骨架破坏，细胞皱缩，碎裂形成凋亡小体。通常情况下，核内 DNA 被降解成 180 bp 倍数大小的片段，这些改变是由一系列基因的程序作用而引起的生化级联

反应的结果；坏死是细胞死亡的病理形式，由急性细胞损伤引起，其特征是细胞肿胀、溶解，细胞内容物泄漏。凋亡影响单个细胞，而坏死通常涉及成片细胞。凋亡是 Kerr 等1972年提出的区别于坏死的细胞死亡方式。辐射、化学药物和毒物、生长因子的缺乏，病毒的感染等都可诱发细胞凋亡，其机理是通过细胞传导途径引起细胞内相关基因表达改变而起作用，现已发现许多基因如BCL-2家族、APO-1/Fas(CD95)、c-MYC、caspase 家族、P53 等都与凋亡有关。细胞凋亡在许多方面对维持生命活动起着重要的作用。辐射诱发细胞凋亡涉及辐射生物效应，辐射致癌机理、肿瘤放射治疗，成为近年放射生物学研究的一个热点。

（撰写：王仲文　审订：吴　企）

xibaoyinzi

细胞因子 cytokine　由机体的免疫细胞和非免疫细胞合成和分泌的小分子多肽。它们具有调节机体免疫功能，参与炎症发生、创伤愈合及造血调控等作用。细胞因子于1957年由 Issaca 和 Lindenman 首先发现，称为干扰素，是由机体免疫细胞与热灭活的流感病毒相互作用后分泌的一种可溶性因子。近几十年来，一系列细胞因子相继问世，根据其产生细胞种类不同，可将细胞因子分成3类：(1) 淋巴因子（lymphokine）；(2) 单核因子（monokine）；(3) 非淋巴细胞、非单核—巨噬细胞产生的细胞因子。根据细胞因子的功能可将细胞因子分成7类：(1) 白细胞介素(interleukine)；(2)集落刺激因子(colony stimulating factor)；(3) 干扰素（interferon）；(4) 肿瘤坏死因子（tumor necrosis factor)；(5)转化生长因子 -β 家族(transforming growth factor-β family)；(6) 趋化因子家族（chemokine family）；(7) 其他细胞因子。细胞因子的共同特点是：(1) 均为低分子量（< 60 kD）的多肽或糖蛋白。大多以单体形式存在，少数如IL-5、IL-12、M-csF 等为二聚体；(2) 大多数细胞因子是细胞在活化后产生的，以自分泌或旁分泌方式在局部发挥作用；(3) 一种细胞因子可由多种细胞产生，同一种细胞可产生多种细胞因子；(4) 需通过与靶细胞表面相应受体结合后发挥其生物学效应；(5) 具有高效性、多效性和网络性，微量浓度（$10^{-10} \sim 10^{-12}$ mol/L 或pg/ml）即可产生效应。20世纪80年代以来，细胞因子作为新型的生物制剂，已用于临床，尤其在调节机体免疫功能、抗肿瘤和抗病毒感染的治疗中取得了巨大的成功。同时，细胞因子在辐射损伤救治中也得到了尝试性应用，尤其在升高患者的血细胞、促进造血功能和免疫功能的重建中显示出独特的作用。

（撰写：张学光　审订：吴　企）

xijun jinchu

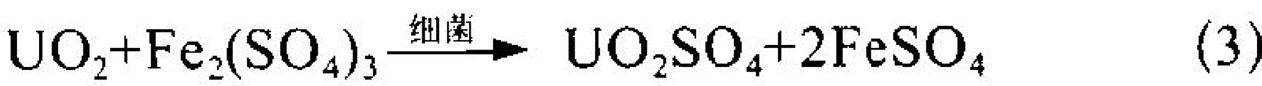
细菌浸出 bacterial leaching　利用细菌的氧化作用，少用或不用硫酸，从矿石中浸出铀的一种方法。常用于氧化含铁硫化矿的菌种有氧化硫杆菌和氧化铁硫杆菌。两者都属于自养菌。氧化铁硫杆菌在铀矿石细菌浸出中应用广泛，这种单细胞微生物的特征：端圆，直径 0.25～0.5 μm，长 1.0～1.5 μm，好气，生长温度 15～40 ℃，生长 pH 值为 1.5～4.0，最佳为 1.8～3.5。氧化铁硫杆菌在铀矿石浸出中主要起间接催化作用，促进黄铁矿和硫酸亚铁的氧化，基本反应如下



$$2FeS_2+7O_2+2H_2O \xrightarrow{细菌} 2FeSO_4+2H_2SO_4 \quad (1)$$



$$4FeSO_4+O_2+2H_2SO_4 \xrightarrow{细菌} 2Fe_2(SO_4)_3+2H_2O \quad (2)$$



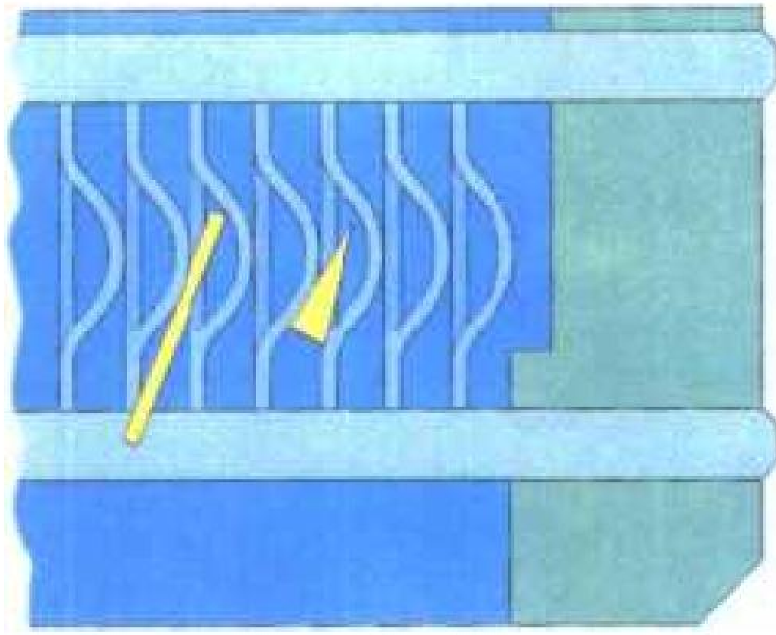
$$UO_2+Fe_2(SO_4)_3 \xrightarrow{细菌} UO_2SO_4+2FeSO_4 \quad (3)$$

从式(2)得到的含高铁菌液作为浸出剂，可按式(3)将U(Ⅳ)氧化为U(Ⅵ)后，转入溶液。菌液中的亚铁离子按式(2)借助细菌再生为高铁，返回用于浸出铀矿石。采用生物挂膜连续氧化法效率高。细菌浸出铀可降低酸耗，不需另加氧化剂，既用于堆浸、地下浸出和渗滤浸出，也可用于常规搅拌浸出，以获得较高的铀浸出率。

（撰写：夏润身　审订：赵锡熊）

xiaguanzuo yiwu guolüwang

下管座异物过滤网 debris filtering device at bottom nozzle　设在燃料组件下管座的过滤装置。其作用是使冷却剂主回路中的异物（如金属碎片等松动件）滞留在过滤器中，不致进入燃料棒周围的冷却剂流道，以免异物随高速流体擦过燃料包壳外侧，划破包壳表面，破坏包壳的密封性（见图）。在下管座设置过滤网之前，这种因异物引起的包壳损伤在燃料元件总的破损率中占有很大份额（50%以上）。利用过滤网以后，这种燃料破损率可下降近一个数量级。



异物

下管座异物过滤网示意图

（撰写：张忠岳　审订：黄玉才）

xiaxiang jiaojie chongtian caikuangfa

下向胶结充填采矿法 downward stoping with cemented　是指从上往下逐层回采，对分层采空区用胶结材料充填，每一分层的回采工作是在上一分层充填之后所形成的人工假顶的保护下进行的铀矿开采方法。回采分层分为水平式或与水平面成 4°～10°倾斜式，这样有利于充填接顶和矿石搬运。回采分层高 2～3 m，用巷道或壁式工作面回采，小型电耙或装运机出矿。巷道用木棚支护。充填前在回采巷道两段构筑混凝土模板，然后进行胶结充填。充填料是用水泥砂浆或混凝土。本法适于开采岩矿不稳、需要保护地表、矿石贵重、品位高的铀矿床。（撰写：王昌汉　审订：李开文）

xiayou sheshi

下游设施 downstream facility　又称下游核设施。易裂变材料生产后为贮存、加工或处理这些易裂变材料的一类设施。下游设施包括接触到禁产条约生效后新生产出的易裂变材料的所有设施，如燃料元件制造厂、新燃料贮存设施、新生产出的易裂变材料的转换设施以及处理和处置多余的军用和民用的易裂变材料的设施等。

（撰写：金惠民　审订：严叔衡）

xiandao ranliao zujian

先导燃料组件 leading assembly　先行放入现役动力堆中作试运行的全尺寸或保持主要设计特征的验证性燃料组件（参见先导组件随堆考验）。为一种新设计而制造的先导组件，它应该具备“新设计”全部“新”的改进和“新”的特点，以便通过随堆考验，根据组件检验的结果，为设计修改和（或）制定合理的运行规程提供数据。

（撰写：张忠岳　审订：黄玉才）

xiandao zujian suidui kaoyan

先导组件随堆考验 irradiation test of leading assemblies in existing power reactor 对根据新的改进要求、新的特点而设计的燃料组件,制成先导组件,放入现役动力堆中,按动力堆的运行条件考察其堆内性能。运行至指定燃耗水平后，将先导组件卸出，在热室中对组件进行全面检查，以检验组件能否满足设计要求，从而为修改、改进和优化组件设计提供试验数据作为依据。与“模拟组件”在试验堆内作“模拟性考验”相比，在现役动力堆中进行先导组件随堆考验是更好、更能代表实际情况的办法（参见燃料棒(组件)辐照考验）。

（撰写：张忠岳　审订：黄玉才）

xianjin qingshuidui dongli zhuangzhi

先进轻水堆动力装置 advanced light water reactor (ALWR) nuclear power unit 由先进轻水堆及其相关的系统、设备和仪表组成的装置。先进轻水堆的主要改进措施是采用先进的堆芯、非能动安全系统和数字化仪表控制系统。与目前正在运行的轻水堆相比，堆芯熔化概率降低一个量级，低于 $10^{-5}\,a^{-1}$，售电价与相应的火电价相当，甚至较低。

（撰写：张一民　审订：孙玉发）

xianlouhoupo zhunze

先漏后破准则 leak-before-break (LBB) criterion 要求结构设计和选材必须保证：裂纹在扩展至贯穿壁厚时，先导致可探测到的泄漏，而不会发生不稳定扩展（结构脆性断裂）的准则。研究表明：反应堆冷却剂主管道在发生双端断裂之前，可以有足够时间探测出管道的泄漏，这种泄漏信号可以为管道可能断裂提供早期预警。因此，如果先漏后破准则成立，就可以不考虑假想的管道双端断裂所引起的动力效应，从而免设防甩支架和喷射挡板。但是，安全壳和应急堆芯冷却系统的设计、机电设备安全等级的鉴定要求，仍需考虑主管道双端断裂事故，以保证安全。为了应用先漏后破准则，必须验证在各种可能载荷（包括地震作用和各种事故引起的附加载荷）下裂纹不会发生不稳定扩展，必须设置在役无损检验系统和泄漏探测系统，必须采取为保证先漏后破准则成立所需的各种有关措施。自 20 世纪 80 年代后半期以来，先漏后破准则已逐步在国外核电厂主管道设计中得到采纳。目前，先漏后破准则的应用范围正在扩大到二回路管系和其他管径较大的高能管道。

（撰写：黄经绍　审订：张忠岳）

xianzhongdu

氙中毒 xenon poisoning 裂变产物 ^{135}Xe 吸收中子引起反应性变化的过程或程度。当 ^{135}Xe 的浓度达到平衡时，其氙中毒称为平衡氙中毒。在热中子反应堆中，^{135}Xe 是裂变产物中最重要的一种毒物同位素，它的热中子吸收截面非常大，在中子能量为 0.025 eV 时，^{135}Xe 的微观吸收截面达到 2.7×10^6 b 左右。氙的生成有两种途径：由裂变直接产生和从先驱核 ^{135}I 经 β^- 衰变后形成。当反应堆启动后以稳定功率运行时，碘与氙的浓度随着运行时间的增长而增加。大约经过 5～6 个该同位素半衰期后达到平衡浓度，其大小与反应堆功率密度有关。由于 ^{135}Xe 的微观吸收截面很大，再加上 ^{135}Xe 由放射性衰变而损失，它会在较短时间（约数十小时）达到平衡值。

（撰写：奚树人　审订：单文志　许汉铭）

xianchang shicha

现场视察 on-site inspection (OSI) 在被探测现场利用人员或仪器收集信息的核查方式，其目的是通过采取这种更具入侵性的核查方式，来保证各项协议或条约条款的顺利执行。美苏双方在《中导条约》中对现场视察的类型、目的、实施步骤与方法、程序安排达成了广泛一致，这也是现场视察首次用于对美俄双边核裁军条约的核查中。《中导条约》现场视察由常规检查和临时通知检查两大类组成。常规检查是指检查的时间和地点由条约有关条款预先确定，包括基线检查、销毁检查和关闭检查以及现场连续监视。基线检查旨在核实备忘录列出的所有数据是否与实际情况相符；销毁检查的目的是核实按规定要销毁的导弹、发射装置是否已被销毁；关闭检查用来证实导弹作战基地和设施中的所有导弹、发射装置和地面保障设备是否均已拆除，辅助设施是否已经关闭；现场连续监视是指在重要的导弹生产工厂和保障设施的周边与所有出入口设置专人和监测装置进行不间断的现场监视，以确保这些工厂或设施停止进行与条约禁止项目有关的各种活动（因此，现场连续监视也称为周边与出入口监视）。临时通知检查与常规检查的区别在于时间的安排，其目的是要缩短从发出通报到观察小组抵达的时间间隔，以增加转移被禁止项目的难度、代价和风险性。

（撰写：段占元　审订：唐西生）

xianzhi

限值 limit 不许超过的量值。在核安全和辐射安全中涉及的主要限值有：安全限值：表示被管设施是安全的运行参数限值。运行限值和条件：1 组参数限值的规定，为了被管设施安全运行由审管部门批准的设备功能和特性要求以及人员的能力和工作水平。规定限值：审管部门制定的或正式接受的可度量量的限值，其意义与管理限值相同，在核安全中用得更为普遍。剂量限值：对个人的总年有效剂量或特定源对一个组织或器官产生的年当量剂量限值。通常分为工作人员和公众成员限值。可接受限值：审管部门接受的对事故预计的放射后果或潜在照射的预定限值。管理限值：其意义与规定限值相同，在辐射和废物安全中用得较普遍，特别是对排放限值通常都用管理限值。基本限值：对个人的任何剂量限值。导出限值：根据照射模式推算的可度量量的限值，符合导出限值也就保证满足基本限值的要求。次级限值：相应于基本限值的可度量量的限值，即相应于工作人员年有效剂量限值的年摄入量限值。放射性排放限值：在有些文件中用于表示排放管理限值的名词。

（撰写：潘自强）

xian neng

线能 lineal energy (y) ε_s 除以 $\bar{l}$ 而得的商，即

$$y=\varepsilon_s/\bar{l} \tag{1}$$

式中 ε_s 为在一次能量沉积事件中授与某一体积内物质的能量；$\bar{l}$ 为在该体积中的平均弦长。线能的单位为焦耳每米 ($J\cdot m^{-1}$)，也可以用电子伏每米 ($eV\cdot m^{-1}$) 表示，或以电子伏和米的倍数或约数表示，例如千电子伏每微米 ($keV\cdot\mu m^{-1}$)。某一体积内的平均弦长是该体积内随机排列的弦的平均长度。对于凸面体，$\bar{l}=4V/A$，其中 V 为体积，A 为表面积。分布函数 $F(y)$ 之值就是因单次能量沉积事件线能等于或小于 y 的概率。概率密度 $f(y)$ 是 $F(y)$ 对 y 的导数，即

$$f(y)=dF(y)/dy \tag{2}$$

$F(y)$ 和 $f(y)$ 与吸收剂量和吸收剂量率无关。

（撰写：董柳灿　审订：陈竹舟）

xianxing maichong fangdaqi

线性脉冲放大器 linear pulse amplifier 置于探测器和脉冲幅度分析器之间，对探测器输出的脉冲信号进行线性放大和成形的电路。线性放大指脉冲放大器的输出脉冲幅度与输入脉冲幅度保持正比关系，经过放大以后，脉冲的幅度分布和探测器输出脉冲的幅度分布相似，只是脉冲幅度一律增大了相同的倍数。成形指的是在保持输出脉冲幅度和输入脉冲幅度成固定比例关系或者不变的情况下对输出脉冲进行适当的成形，改进放大器的某些性能，使之适合于脉冲幅度分析器或甄别器。通常应达到以下要求：适当的放大倍数、良好的线性、足够高的稳定性能、符合要求的上升时间、良好的过载性能、较小的噪声和干扰、能在高计数率下工作等。

（撰写：李 政 审订：席德明）

xianxing mendianlu

线性门电路 linear gate circuit 一种在关闭时切断信号通路，开启时使输入信号线性地通过的门电路。常用的线性门有两类：单向线性门与双向线性门。单向线性门传送单极性脉冲信号；双向线性门传送双极性脉冲信号。线性门的技术指标主要有速度响应、线性与稳定性等。从电路形态看，线性门可以分为串联型、并联型和串联—并联型的线性门。对于串联型线性门，当电子开关 K 接通时，信号可通过；K 断开时，信号被截断。对于并联型线性门，当 K 断开时，信号可通过，反之，信号被截断。线性门在电路中主要用于控制信号的传递，例如在多道幅度分析器中用来实现信号的占用与封锁。 （撰写：李君利 曾 志 审订：席德明）

xianxing wuyu

线性无阈 linear non-threshold 在辐射防护中用于估算低剂量照射危险的剂量—效应模式。该模式假定，在天然本底以上增加的一个小剂量照射增量，与归因于该辐射的致死性癌症概率增量之间的关系为一通过原点的直线。即不论剂量多小，都会使致死性癌症概率增加一个与之成正比的值，没有阈。辐射对健康的影响分为确定性效应和随机性效应两类。前者，如皮肤损伤与造血机能低下，一般发生在大剂量照射的情况下，有阈，且其严重程度依赖于所受剂量的大小；后者，如癌的发生和遗传效应，在受照的机体中可能发生也可能不发生，但一旦发生则其严重程度与辐射剂量无关。总体上说，随机性效应的发生概率与剂量间的关系为线性二次曲线。线性无阈模式适用于其中的低剂量段，即国际放射防护委员会(ICRP)所推荐的限值以下的剂量范围。从辐射致癌的基本过程看，无论多小的剂量都有可能引起向恶性转变的初始事件(尽管概率很低)。假如机体的防御机制不是绝对有效，线性无阈模式在低剂量范围内就应该是正确的。由于统计学原因，当个体的受照剂量很小时，这一模式的正确性尚不能为现有流行病学数据所证实或否定。不过即使有阈，其值必将小于 0.2 Gy，或更小。 （撰写：胡遵素 审订：孙世荃）

X

xiangdui celiangfa

相对测量法 relative measurement method 通过物理实验方法，将未知量与一个标准量相比较而获得该未知量的量值，这类方法称为相对测量法。相对测量法由于仅与标准量作相对测量比较，许多修正因子可以消去，不必测量或计算其绝对值，实际操作非常简便。例如为了测定一个放射性样品的活度，可以用活度已知的标准样品与该待测样品在相同条件下进行测量，根据它们测量的量值之比和标准样品的活度值即可算出待测样品的活度值。有时也可用标准源把仪器刻度好，或做好源活度与读数的校准曲线，则根据仪器读数便能知道待测样品的放射性活度。相对测量法简单方便，适宜于大量重复性测量。在生产单位、放射医学和放射生物学上应用很广泛。 （撰写：丁声耀 审订：容超凡）

xiangkongjian

相空间 phase space 粒子束是由大量的具有宏观定向运动的粒子构成的。完整地描写一个带电粒子在电磁场中的运动状态，应当有 6 个参量，它们是：x，y，z，p_x，p_y 和 p_z。其中 x，y，z 是粒子的空间坐标，p_x，p_y，p_z 是粒子的动量坐标。这 6 个参量是相互独立的。由这组相互独立相互正交的变量构成的6维空间称为六维相空间。在此相空间中的一个点，代表某一时刻 t 粒子的运动状态，称为相空间的一个代表点。一个带电粒子在相空间中只能占据一个点，一个代表点也只能代表一个粒子。束流动力学就是描述由这些相空间代表点及其所组成的相空间体积元在电磁场中的运动规律。从更广义的观点讲，六维相空间的 6 个独立坐标不仅限于上述 6 个变量。它们可以是其他 6 个独立变量的组合，其自变量也不仅限于时间 t。比如自变量也可以是 z。

（撰写：关遐令 审订：王传英）

xiangtu

相图 phase diagram 在某一给定的时刻，粒子代表点在相空间的分布图。如果给定了粒子的三个位置坐标 x，y，z 和三个动量分量 p_x，p_y，p_z，那么粒子的运动状态就完全确定了。由坐标 x，y，z，p_x，p_y，p_z 所组成的六维空间叫相空间。这样，单个粒子的运动状态可以由相空间的一个代表点来表示，粒子束则可由相空间的一群代表点来表示。如果束流在线性场中传输或加速，那么束流在六维相空间的相图为一个多维椭球，球面上的各点就代表全部束流粒子的运动状态。椭球在三个相平面 (x, p_x)，(y, p_y)，(z, p_z) 的投影为椭圆。在加速器物理中，通常在相平面 (x, x')，(y, y') 和 $(\Delta\varphi, \Delta E)$ 研究束流的传输和加速性质，其中 $x'=p_x/p_z$，$y'=p_y/p_z$，$\Delta\varphi$，ΔE 中研究粒子与同步粒子之间的相位和能量差。如果束流在非线性外场中传输或束流强度很大，就必须考虑场的高阶像差和粒子间的相互作用。

（撰写：欧阳华甫 审订：王传英）

xiangyi

相移 phase advance 某一点与起始点振动的相位差，在束流传输线和粒子加速器中，专指粒子横向(水平和垂直方向)振荡的相位差

$$\psi(s)=\int_0^s \frac{\mathrm{d}s}{\beta(s)}$$

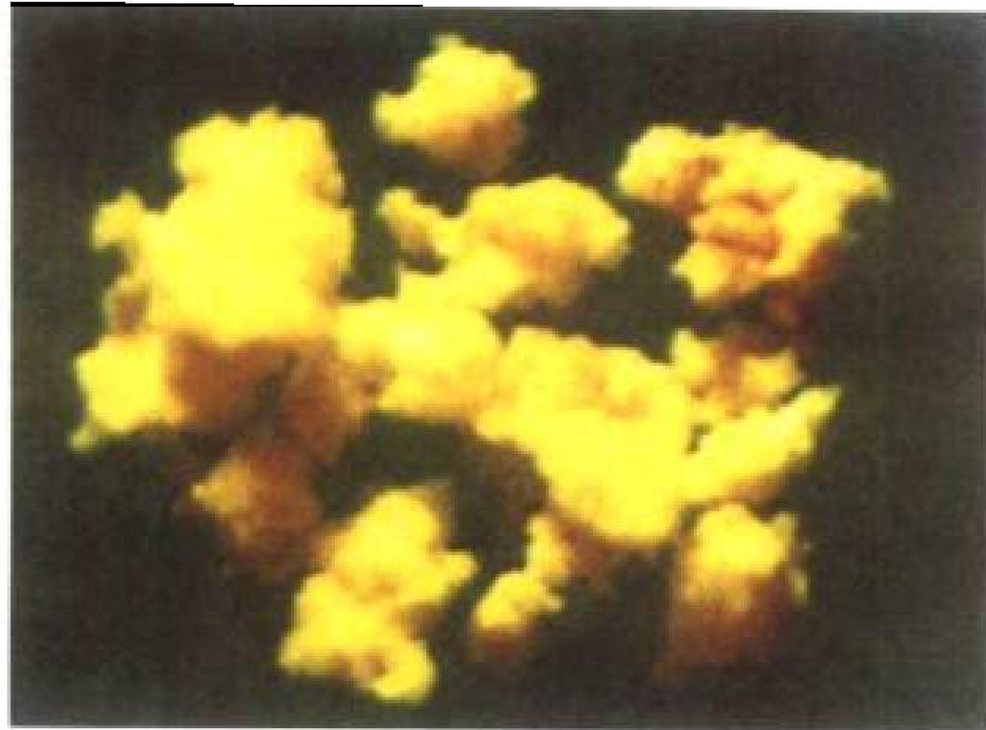
式中 s 为在加速器曲线坐标上相对于起始点的弧长距离；$\beta(s)$ 为横向振荡的包络函数；$\psi(s)$ 即为横向振荡的相移。这样，曲线坐标上任意两点 s_2 和 s_1 之间的相位差 $\Delta\varphi$ 即为

$$\Delta\psi=\psi(s_2)-\psi(s_1)=\int_{s_1}^{s_2} \frac{\mathrm{d}s}{\beta(s)}$$

相移表征横向振荡的包络函数的变化情况，是聚焦系统中的一个重要参量。在周期性聚焦系统中，每周期的相移 $\mu=\psi(L)$ (L 为周期长度) 与聚焦性能紧密相关，μ 通常取在 $\pi/3 \sim 2\pi/3$ 之间。 （撰写：张 闯 审订：方守贤）

Xiangjiang youkuang

湘江铀矿 Xiang jiangite 铀酰磷酸—硫酸盐，化学式为$(Fe,Ae)(UO_2)_4(PO_4)_2(SO_4)_2(OH)\cdot 22H_2O$，该矿物发现于我国湖南省。矿物为假四方晶系（斜方或单斜晶系），晶体大部分呈微拉长的六边形，少部分为矩形、八角形；集合体常呈土状。颜色为黄色到亮黄色，条痕呈淡黄色，丝绢光泽（见图）。硬度1～2，相对密度2.9～3.1。在短紫外光照射下不发荧光。二轴晶负光性。折光率：N_p=1.558, N_m=1.567, N_g=1.593。干涉色高。平行消光或对称消光。湘江铀矿产于二迭系岩层中铀矿床的氧化带，与准铝铀云母、磷铝石等共生。



湘江铀矿集合体

（撰写：赵凤民　审订：胡绍康）

xiangxian gonglü qingxiebi

象限功率倾斜比 quadrant power tilt ratio (QPTR) 将反应堆分为若干象限，在某象限测得的最大功率值与所有象限测得的功率平均值之比。它是表示堆芯功率分布是否均匀的一个重要运行参数。在压水堆核电厂技术规范中规定，当核电厂运行在额定热功率的50%以上时，象限功率倾斜比不得超过1.02。功率分布的测量是在启动试验中进行的，而在功率运行期间要定期进行复测。QPTR限值可以提供对偏离泡核沸腾(DNB)和线功率的保护。

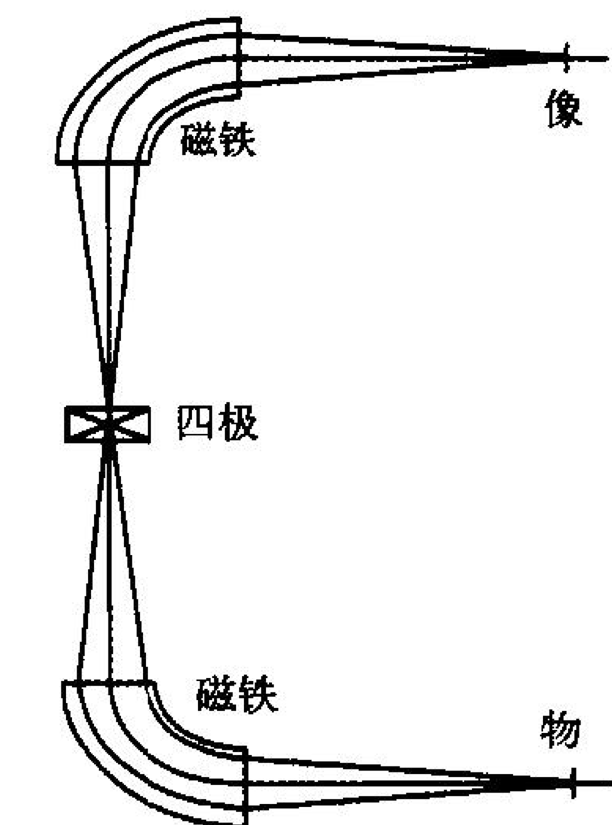
（撰写：史永谦　审订：罗璋琳　许汉铭）

xiaosesan chuanshu yu dengshixing chuanshu

消色散传输与等时性传输 achromatic and isochronous transmission 在束流传输过程中，一个脉冲束团经过偏转元件后将引起粒子束位置和角度的色散以及束流脉冲宽度的展宽。为了确保束流经过偏转元件时的束流质量，必须克服色散现象和非等时性传输（见图）。在(x,x',y,y',ϕ,δ)六维相空间中（其中ϕ为相位分散，δ为能量分散），束流矢量通过一套色散元件后的束流矢量为

$$X_1=R_{11}x_0+R_{12}x_0'+R_{16}\delta$$
$$X_1'=R_{21}x_0+R_{22}x_0'+R_{26}\delta$$
$$\phi_1=R_{51}x_0+R_{52}x_0'+R_{55}\phi+R_{56}\delta$$

式中下标“0”表示系统前的束流矢量；下标“1”表示系统后的束流矢量；R_{ij}为传输矩阵R的相关元素。消色散传输系统就是使其$R_{16}=R_{26}=0$，此时将完全消除纵向运动对横向运动的耦合。等时性传输系统就是使其$R_{51}=R_{52}=R_{56}=0$，即像点的脉冲相宽完全独立于物点处的空间特性。

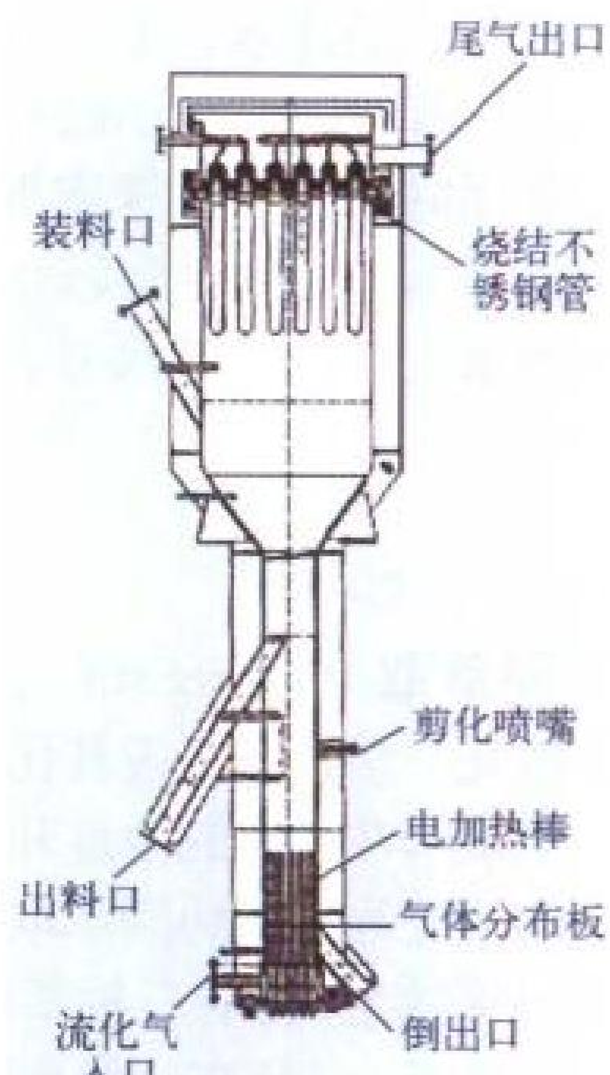


典型的对称系统的消色散与等时性布局

（撰写：关遐令　审订：王传英）

xiaosuanyouxian tuoxiao

硝酸铀酰脱硝 uranyl nitrate denitration 除去硝酸铀酰中的硝基，转化为氧化铀的过程。脱硝过程包括脱水和硝酸盐热分解。在铀精制工厂和乏燃料后处理厂的铀尾端，普遍采用流态化脱硝工艺（见图）。先往流化床内装入一定高度的UO_3粒子作为晶种，已加热到340 ℃的流化气体，从流化床底部经气体分布板，均匀的喷入床层。当气体流速达到一定速度时，固体颗粒床开始流态化，此速度称为最小流化速度。流化床反应器都是在高于最小流化速度条件下操作的。所需热量由内部电热棒或外部加热器供给，待床层温度达到要求值时，即可从喷嘴连续地向流化床内喷出雾化的浓缩硝酸铀酰溶液进行脱硝。老式硝酸铀酰脱硝在搅拌槽或连续回转窑中进行。处理量小的脱硝过程也可采用微波脱硝工艺。

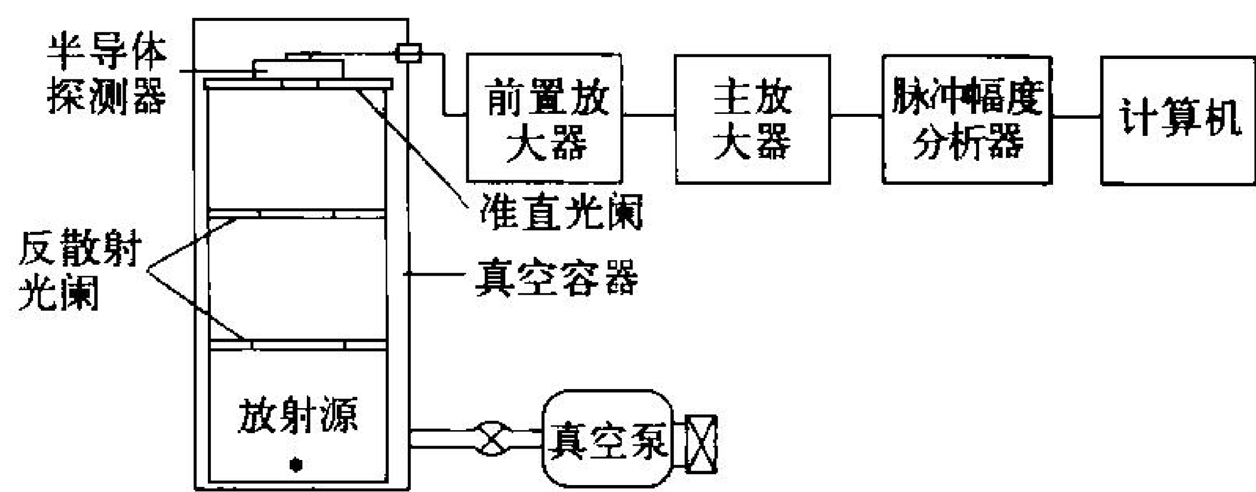


流化床脱硝反应器示意图

（撰写：林懋贞　审订：郑华铃）

xiaolitijiao fa

小立体角法 constant solid angle method 测定放射性活度的一种方法。通过测量空间某一立体角内放射源的粒子发射率以及该立体角的大小，经过适当修正，即可求出放射源发射的粒子数。小立体角装置一般用硅半导体作为探测器，探测器前加一个直径经准确测定的光阑，光阑大小根据测量的几何条件选择（一般十几毫米）。探测器与源之间距离与测量的源强度有关（从几厘米到几十厘米）。为了降低壁散射的影响，在主光阑与源之间加上反散射光阑（一般2～3个，其直径从源到探测器之间逐渐变小，但最小的也要大于主光阑），为了减小空气减弱的影响，整个系统用机械泵抽真空。小立体角装置主要用于测量α粒子发射率，也可以用于测量α粒子能谱。测量的活度范围是$10^3\sim10^7$ Bq（见图）。



小立体角测量装置示意图

（撰写：容超凡　审订：丁声耀）

xiaopokou shishui shigu

小破口失水事故 small break LOCA (SBLOCA) 压水堆核电厂中由较小的冷却剂管道破口（相当于直径 200 mm以下圆面积）引起的事故。它是一种假想的设计基准事故，属IV类工况（极限事故）。与大破口失水事故相同，也以冷管段破口较为严重。与大破口失水事故的区别在于喷放过程进展较为缓慢，冷却剂保持热力学平衡状态。此期间压力容器的水位一直下降，并往往发生“水封现象”，即积存在主泵入口处

弯段内的水阻止压力容器上腔室内蒸汽经热管段和蒸汽发生器从破口排出。此时上腔室内较高的压力将冷却剂从堆芯挤出，形成部分堆芯裸露而升温。上腔室与冷管段之间压差继续增大，使水封消失，上腔室减压，堆芯水位回升，燃料元件淹没。水封反复产生和消失数次后，系统压力下降，安全注射箱开始注水，堆芯水位迅速上升，燃料元件淹没，进入长期冷却阶段。在小破口失水事故中，包壳峰值温度取决于元件裸露的早晚及裸露期的长短。破口较大时，元件裸露较早但裸露期短；破口较小时则反之。因而存在一个包壳温度达到最大值的破口尺寸，事故分析应找出这个破口尺寸。

（撰写：俞尔俊　审订：陈叔平）

xietong cuiqu

协同萃取　synergism　两种或两种以上萃取剂的混合物同时萃取某一金属离子或其化合物的过程。它的分配比显著大于每一萃取剂在相同的浓度和条件下单独使用时的分配比之和。相反的情况称为反协同萃取。含有两种萃取剂的协萃体系称为二元协萃体系，含有三种萃取剂的称为三元协萃体系。还有一类协萃体系，只含有一种萃取剂，但用了两种不同稀释剂的混合物，其分配比分别用单一稀释剂时显著增大，这种效应称为稀释剂的协同效应。（撰写：牛玉清　审订：程光荣）

xiezhenqiang

谐振腔　resonator　导体构成的腔体，其内部可激发起电磁振荡。特定的谐振腔具有固有的谐振频率、电磁场模式，以及表征其特性的品质因数和并联分路阻抗等参量。常见的形状规则的谐振腔有长方体谐振腔、圆柱体谐振腔、同轴线形谐振腔等。它们可看成是矩形波导、圆柱形波导、同轴线形波导等在电磁波传播方向上两端用导体封闭后构成，其中的驻波电磁场则为行波电磁场反射后形成。谐振腔中的电磁场可以通过电场或磁场耦合与外部器件或功率源交换能量，也可以与腔中的电子束或离子束交换能量。利用这些特性，各种用途的谐振腔广泛地用于各项超高频振荡、放大等电子器件及测量仪器，以及电子或离子束的加速谐振腔等。

（撰写：方家训　审订：关遐令）

xielou

泄漏　leakage　放射性物质穿过确定的边界向外界（特别是向环境）的转移或扩散。在核电厂、生产堆和研究堆中，由于各种原因或事故造成的一道或多道密封屏障故障、破损、破坏或旁路，使得含有裂变产物或活化产物的液体或气体穿过密封屏障进入反应堆大厅或环境，从而导致放射性物质的泄漏。在操作易裂变材料或放射性物质的场所或小室，由于工艺设备自身、手套箱或包容容器等的失效，也会造成放射性物质的泄漏。（撰写：刘　华　审订：吴德强）

xielou fushe

泄漏辐射　leakage radiation　来自辐射源并逸出屏蔽体外的全部无用辐射。包括直接穿透屏蔽层的初级辐射和在屏蔽体内散射后逸出或从空洞、孔道、缝隙逃脱的辐射。对于X射线或γ放射源的屏蔽体或屏蔽容器，评价泄漏辐射是否符合要求时，通常是在距源1 m处不大于100 cm^2的面积上，或者在离源外壳表面5 cm处的10 cm^2面积上测量空气比释动能率的平均值。如需对泄漏辐射进一步加以屏蔽，可以依据必需的半值厚度（HVT）或者1/10值厚度（TVT）的倍数来估算屏蔽。因为这种泄漏辐射穿过源外壳时已被明显地减弱，进一步的减弱实际上是指数减弱的。用于治疗的和用于刻度辐射测量仪器的辐射源，常用同一距离处的有用束的百分数来表示泄漏辐射。例如用于诊断和治疗的中子发生器或中子源，泄漏辐射在空气中的组织比释动能率应小于同一距离处初级射束的1%。这些辐射源通常还必须同时满足源壳附近其他方向泄漏辐射规定值的要求。例如医用直线加速器，离开电子源与靶之间的电子轨迹或者电子源与电子窗口之间的电子轨迹1 m处的泄漏辐射（不包括中子）的空气比释动能率不得大于在正常治疗距离处射束中心轴上的空气比释动能率的0.5 %。测量泄漏辐射时应当用厚塞子将有用束挡住。

（撰写：陈明焌　刘　华　审订：胡遵素　吴德强）

xinkuai bianyuan xiaoying

芯块边缘效应　rim effect of pellet　在燃料芯块局部燃耗很高时（铀燃耗约60000 MW · d/t），芯块边缘形成一个很窄（约100～200 μm）的晶粒极细、微气孔密集的区域。这个区域的微观结构和导热性能等，都与低燃耗情况下有明显差别，称为"边缘效应"。边缘区域局部燃耗可以高出平均燃耗达70 %～100 %（平均铀燃耗约为30000～40000 MW · d/t），在这个区域内，由于裂变密度极高所造成的损伤，存在大量处于非热力学平衡状态的裂变产物，从而引起这个区域的微观结构发生根本变化：原先5～10 μm的晶粒碎裂成亚微观结构，大量微气孔（直径约1 μm）密集，局部钚的集中比一般情况高出1倍。边缘区域导热性能差，因此高燃耗芯体自中心至边缘的温度分布较均匀。边缘区域"刚度"很小，在包壳与芯块之间仿佛形成一个缓冲区，有利于缓和包壳与芯块的机械相互作用。目前，对边缘效应了解尚少，许多更细致的研究工作正在进行中。（撰写：张忠岳　审订：黄玉才）

xinkuai fuzhao mishi

芯块辐照密实　fuel pellet densification　陶瓷芯块在反应堆中运行初期（铀燃耗为1000～3000 MW · d/t）因辐照引起体积缩小、密度增大的现象。密实化效应是由于燃料在辐照下，微气孔（直径< 2 μm）大量湮灭，导致密度增加（约1 %～3 %）的结果。在20世纪70年代初期，芯块密实化曾导致压水堆燃料元件包壳屈曲。这是芯块密实化使芯体收缩、包壳与芯体径向间隙增大所致。与此同时，不均匀的芯块密实化也可能引起芯块之间轴向间隙增大，导致轴向功率峰（参见燃料柱），不利于正常运行。70年代中期，在芯块中加入造孔剂，使孔径分布主要集中于10～40 μm之间，密实化效应大为减小。（撰写：张忠岳　审订：黄玉才）

xinkuai kailie

芯块开裂　pellet cracking　反应堆运行中陶瓷芯块因热应力作用而出现裂纹的现象。芯块本身在开裂后呈麦捆状（见图1）。

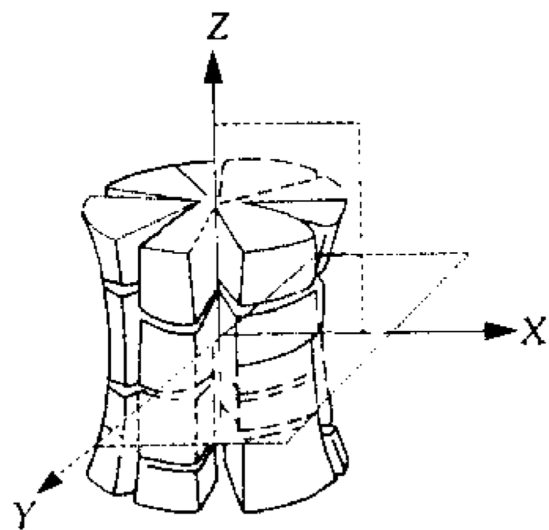


图1　芯块麦捆状变形

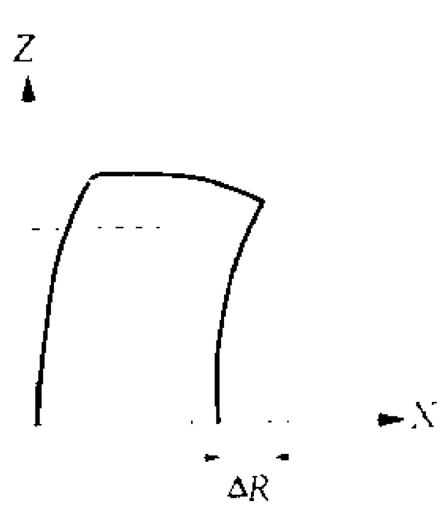


图2　芯块裂纹分布

芯块裂口处可能成为燃料棒 PCI 破坏的起始点 (参见 PCI 破坏[功率]阈值)。功率下降相当于对芯块加上一组与先前相反的应力，结果往往形成新的径向裂纹。因此在功率升降变化中，芯块的裂纹可以呈现十分复杂的状态 (见图 2)。

(撰写：张忠岳　审订：黄玉才)

xinkuai xianweizuzhi jiancha

芯块显微组织检查 microscopic examination of fuel pellet 用光学显微镜、扫描电镜、电子探针显微分析仪和图像分析仪观察、分析和测量陶瓷 UO_2 芯块显微组织的作业。辐照后 UO_2 芯块的宏观性能，如密实、肿胀、裂变气体释放、抗蠕变性能、与锆包壳的相容性等，都与其显微组织形貌有关。显微组织检查是辐照后检验的重要内容，它主要包括开裂、晶粒度、孔隙度及其分布、重构以及裂变产物迁移等。检查前，需制备样品。步骤如下：先用真空吸注法向包壳中灌注环氧树脂、将芯块进行镶嵌；然后进行试样切割、磨光、抛光和蚀刻，必要时需进行喷涂。所有试样的制备工作均需在热室内由远距离操作完成。

(撰写：王树人　审订：李文埮)

xinkuai yu baoqiao xianghu zuoyong

芯块与包壳相互作用 pellet-cladding interaction (PCI) 辐照过程中，芯块与包壳之间所发生的机械相互作用和包壳内侧裂变产物与包壳的化学相互作用的总称，简写为 PCI。在芯块与包壳相互挤压的局部区域，包壳周向应变和应力很大，挥发性裂变产物对包壳的应力腐蚀作用加剧，往往导致包壳应力腐蚀开裂 (SCC)。严重的 PCI/SCC，将使裂纹贯穿包壳壳壁而破坏密封，造成燃料破损。

(撰写：张忠岳　审订：黄玉才)

xinranliao zhucun

新燃料贮存 new fuel storage 新燃料组件在新燃料贮存间内的存放。在压水堆核电厂中，新燃料组件的贮存通常为干法松散式贮存，在装入堆芯前则暂存在水下的乏燃料贮存格架内。新燃料贮存格架的规模一般应能贮存堆芯一次换料的数量加上适当的裕量。首次堆芯装料用的新燃料组件则可临时贮存在乏燃料贮存水池中，以满足额外燃料贮存量的需要。新燃料贮存格架位于专用厂房内。必须保证在任何情况下使所贮存的燃料组件处于次临界状态。每个格架含有若干个贮存小室，新燃料组件被垂直贮存。新燃料贮存间和贮存格架必须满足抗震要求，应能承受包括内、外部飞射物及地震、洪水等自然灾害的影响。

(撰写：吴　明　审订：左　民)

xingguang 2 zhuangzhi

"星光" 2 装置 Xingguang 2 laser facility "星光" 2 是一钕玻璃激光装置。激光波长 1.054，0.53，0.351 μm；脉冲宽度 (FWHM) 0.2～5 ns；输出能量 250 J (脉冲宽度为 1ns，基频光)，130 J (脉冲宽度为 1 ns，3 倍频光)。激光系统由振荡器、预放大级和主放大级组成，最末两级为口径 100 mm 和 150 mm 的片状放大器。靶室瞄准精度 ± 25 μm，可产生"点"或"线"状聚焦。"星光" 2 的 3 倍频转换效率在 65%～70% 之间，是我国第一台可输出 3 倍频光的高功率装置 (见图)。

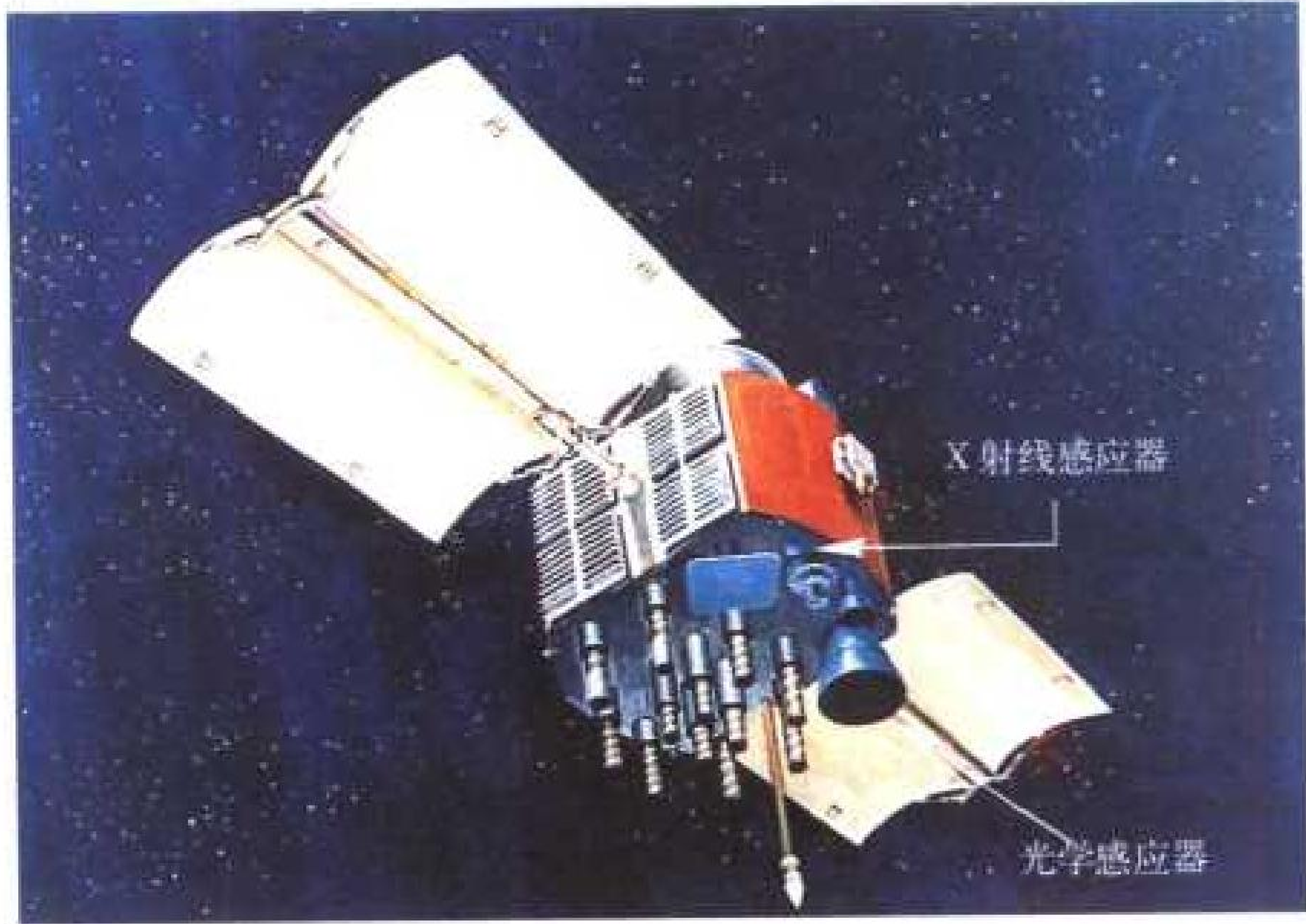


"星光" 2 装置激光大厅

(撰写：郑志坚　审订：江文勉)

xingzai hebao tance xitong

星载核爆探测系统 satellite-borne nuclear burst detection system 安装在核爆探测专用卫星上或搭载在全球定位系统卫星、导弹预警卫星以及其他卫星上的核爆探测装备。星载核爆探测系统由核爆探测部件、信号处理部件和信号传输部件组成。对于空间核爆，主要测量 X 辐射等信号。对于大气层核爆，主要测量光辐射、核电磁脉冲等信号。由测得的信号经信号部件处理，判明核爆的发生及获取核爆的时间、位置、威力等信息。美国为了提供有限禁核试条约履约中一种核查的国家手段，发射了维拉 (Vela) 卫星，卫星上安装了核爆探测系统。20 世纪 80 年代美国将改进的核爆探测系统搭载在全球定位系统卫星 (GPS) (见图) 上。90 年代美国发射



美国 GPS 核爆探测系统外观

低轨道 ALEXIS 与 FORTE 试验卫星，进一步研究发展卫星核爆探测的光辐射、核电磁脉冲与 X 辐射的现代化探测技术。

(撰写：张宏濂　审订：毛用泽)

xingbo zhixian jiasuqi

行波直线加速器 traveling wave linac 一种以行波形式传播的射频电磁波与带电粒子相互作用的直线加速器。其两头有匹配耦合器用于射频电磁波输入输出，原则上没有波的反射。典型结构是在圆柱波导中加以周期性圆盘负载，形成慢波，每周期的相移量是 120°，称为 2π/3 模式。工作在 S 波段时，分路阻抗通常为 50 MΩ /m 左右。行波直线加速器又分等阻抗加速结构和等梯度加速结构两种，前者加工容易，后者有较高的束流崩溃阈电流。与驻波直线加速器相比，行波直线加速器的优点是：(1) 比较容易调试；(2) 能散度较小；(3) 模式间隔较大。其中第 (3) 点是长加速管和高能量直线加速器均采用行波加速的原因。

(撰写：罗应雄　审订：王传英)

xingdong shuiping

行动水平 action level 在持续性照射或应急照射情况下应采取补救行动或防护行动的剂量率水平或活度浓度水平。关于持续性照射时的行动水平的含义应该正确理解，例如对住宅中的氡，推荐的行动水平范围是仅仅与简单措施相关的，认为一达到或超过行动水平就要采取重新安置（如搬迁）这类措施，这是不合适的，除非无法再降低的浓度还高出行动水平一个数量级。（撰写：董柳灿 审订：潘自强）

xingzheng fagui

行政法规 administrative regulations 由政府或其部门颁布的，具有法律约束力的文件。一般在行政法规中规定管理范围、管理机构、管理原则及程序等重大问题。在我国由国务院颁布的法规称为行政法规，由国务院各部门颁布的称部门规章。在核安全方面已颁布的行政法规有：民用核设施监督管理条例、核材料管制条例和核电厂核事故应急条例。（撰写：任常平 审订：张 健）

xingzheng fagui shishi xize

行政法规实施细则 rules for implementation of administrative regulations 由政府部门根据行政法规制定颁布的具有法律约束力的文件，实施细则为行政法规规定具体实施办法。例如我国国务院颁布了核设施安全监督管理条例，国家核安全监管机构根据核设施安全监督管理条例，制定和颁布了相应的实施细则，对核安全许可证件的管理和核安全监督，规定了实施的办法。（撰写：任常平 审订：张 健）

xuni heshiyan

虚拟核试验 virtual nuclear test 在禁核试条件下，为确保库存核武器的可靠性和安全性，对核装置进行改进或改型，以实验数据为基础、依靠先进的计算程序和高性能计算机进行的数值模拟计算。核武器随着库存时间的增长，各零部件都要发生老化，其性能变化将影响核武器的安全性、可靠性和性能。有的核武器需要改进或改型（如美国用B 61–11 代替B 53 重力炸弹的计划，W–87 的延寿计划，B 61–3，B 61–4，B 61–10的安全性升级计划）。这些问题过去是靠核试验来解决的。禁核试后，核武器的研究方法就转变成为：以实验室实验、对过去核试验数据的分析和次临界实验为实验支柱，加强相关的基础理论研究和计算方法研究，研制超大型高性能计算机，理论和实验不断相互促进，改进和完善总体模拟计算程序包，使其作为模拟核武器动作过程的综合集成手段，以解决库存核武器出现的各种问题和对改进或改型后的核武器的可靠性作出高置信度的认证。核武器研究方法的这一转变实质上是以科学为基础取代以核试验为基础；在表现形式上是以计算机上进行的数值模拟——“虚拟核试验”为基础取代以核试验为基础。为了加速实现这种取代，美国在 1995 年提出了“加速战略计算倡议”计划，要求到 2010 年实现对核武器的三维、全系统和全物理的模拟。所谓“全系统”是指既包括核部件也包括非核部件的整个武器系统，“全物理”包括物理、化学、材料科学与工程科学。为此，计划在 2003 年研制出每秒运算百万亿次的超大型计算机。（撰写：郑绍唐 审订：刘恭梁）

xuni heyiqi

虚拟核仪器 virtual nuclear instruments 由个人计算机软硬件、接口组成的能实现某些核仪器功能的系统。它不仅能用于测量，还能用于控制。同传统核仪器相比，它有结构灵活、通用性强、数据处理能力强、性能价格比高、能实现远程控制等特点。目前的接口通常包括插入式数据采集卡、GPIB（通用接口总线）接口卡或 VXI 总线接口卡等。用于编写虚拟核仪器软件的计算机语言包括：微软的 VB，Borland 公司的 Delphi、NI 公司的 LabVIEW 和 HP 公司的 HPVEE 等。虚拟核仪器是虚拟仪器技术在核领域的应用，它是核仪器发展的一种趋势。（撰写：倪建平 审订：席德明）

xukezheng chiyouzhe

许可证持有者 licensee 又称执照持有者。在辐射安全管理中，是指获准持有审管部门为某一辐射实践活动或辐射源所授予的现行有效许可证件的申请者。申请者一旦获准成为许可证持有者，则就被认为他已承担对该辐射实践活动或辐射源的权利、责任和义务，特别是有关辐射防护和辐射源安全的权利、责任和义务。（撰写：吴德强 审订：华 旦）

xuning chendian

絮凝沉淀 flocculating precipitation 在放射性废液中加入凝聚剂，破坏放射性核素所形成胶体的稳定性并和细小分散的悬浮物聚集成可沉淀的絮凝体，在其下沉过程中不断吸附和挟带废液中的其他悬浮物，以形成泥浆废物的过程。絮凝沉淀过程包括共沉淀、吸附桥联和胶体双电层的压缩作用。废液中的放射性核素与其常量稳定元素或化学性质相近的稳定元素的同类盐发生同晶或混晶共沉淀，如磷酸盐絮凝沉淀处理中，^{90}Sr 能从 $Ca_3(PO_4)_2$ 中取代 Ca^{2+} 形成 $Sr_3(PO_4)_2 \cdot Ca_3(PO_4)_2 \cdot H_2O$ 混晶共沉淀；絮凝剂水解和缩聚反应生成的线性结构聚合物与胶粒或微小悬浮物吸附桥联；凝聚剂的水解，增加废水中的离子浓度，使胶体粒子的双电层受压缩，易于电中和、脱稳凝聚。絮凝沉淀法的去污系数低，一般为 5～10，只适用于低放废液的处理。它常与蒸发法、离子交换法一起使用。常用的凝聚剂有磷酸盐、铁盐和铝盐等，它们对铈、锶、锆、铌等放射性核素有较好的净化效果，如需除铯，可用亚铁氰化物作凝聚剂。絮凝沉淀常在沉淀池或澄清池中进行，放射性废液处理常用脉动澄清池、加速澄清池。絮凝沉淀后的出水要求配备良好的过滤处理。絮凝沉淀法也广泛用于一般用水和工业废水处理。

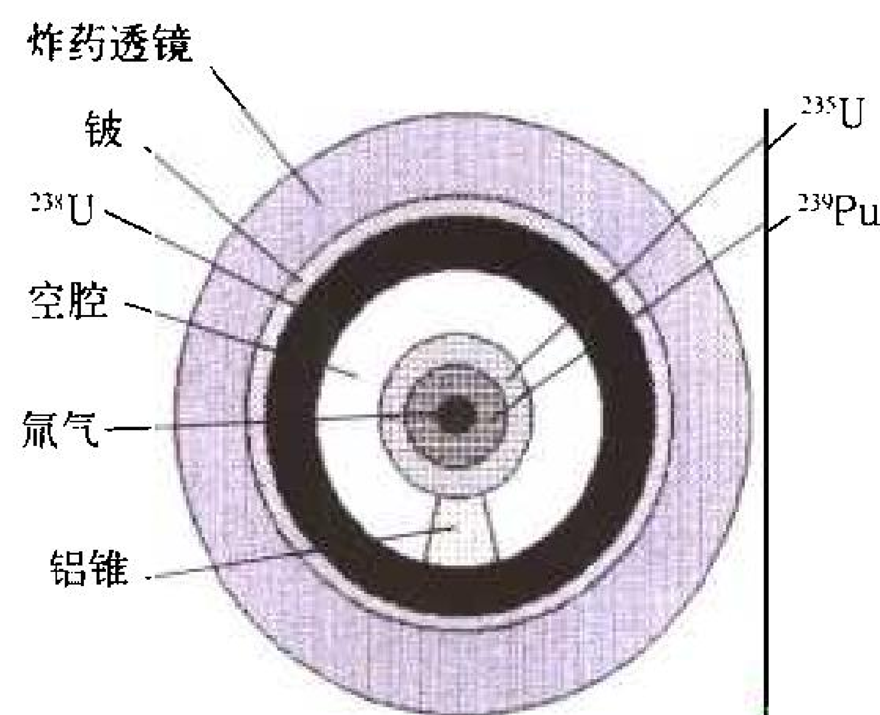
（撰写：骆大星 审订：孙明生）

xuningji

絮凝剂 flocculent 能使固体分散体系中的微粒集合成较大的絮状物，以加快沉降，改善分离性能的物质。絮凝剂一般应具备高效、稳定、价廉、适应性强、对后续工序无不良影响等特性，分为无机电解质类（如明矾等）、天然有机物类（如树胶等）和合成有机高分子絮凝剂（如西伯朗等）。絮凝机理公认的是“搭桥”机理。影响絮凝效果的主要因素是絮凝剂的种类、浓度、用量和加入方式，以及矿浆的浓度、搅拌速度等。铀水冶主要是应用有机高分子絮凝剂。常用的是分子量为（1～20）× 10^6 以聚丙烯酰胺为基体的非离子型和阴离子型及分子量为 5 × 10^5 季胺型聚合物。非离子型絮凝剂适用于酸浸矿浆，强阴离子型适用于碱浸矿浆；中等分子量的絮凝剂适用于矿浆过滤，高分子量的更适用于矿浆浓密过程。絮凝剂在水处理、选矿、冶金、煤炭、化工、石油等工业中得到广泛应用。（撰写：关自斌 审订：王志章）

xuanzhishi hecheng danxin

悬置式合成弹芯 levitated composite core 用两种易裂变材料作弹芯，在惰层与弹芯间留有空腔的内爆法原子弹设计(见图)。这是内爆法原子弹在第二次世界大战后的一种发展。用作合成弹芯的两种易裂变材料常常是 ^{239}Pu 与 ^{235}U。合成弹



悬置式合成弹芯示意图

图出处：Brown R K. Nuclear Weapon Diagrams. http://www.envirolink.org/issues/nuketesting/hew/Library/Brown

芯的优点是可减少钚的用量，从而减少中子本底，同时临界质量又比单用 ^{235}U 时小。弹芯悬置的优点是使推进层在往里运动撞击裂变材料弹芯前在空腔中加速，增大动量，提高炸药的利用率，增加裂变芯与推进层的压缩度，从而提高原子弹的效率（指发生裂变的裂变材料质量与裂变材料装量之比）。 （撰写：郑绍唐 审订：徐运新）

xuanzhuan dengliziti fenlifa

旋转等离子体分离法 rotating plasma isotope separation process 利用等离子体高速旋转产生的离心力场分离同位素的方法。进一步分析表明，可以分为完全电离等离子体和部分电离等离子体两种情况。对于完全等离子体情况，被分离介质完全电离。在磁场存在时，由于洛伦兹力的作用，产生旋转。旋转等离子体的线速度可以很高，甚至达到 10000 m/s。在这样的高速旋转情况下造成径向分离。但是由于等离子体处于高温，比如 7000 K，分离效应有所影响。如果在旋转的轴向产生环流，也可产生轴向的二次分离效应。对于部分电离等离子体是利用旋转等离子体带动中性气体旋转，产生同位素分离。旋转等离子体方法的最大优点是无须机械装置的高速旋转，等离子体在静止装置中高速旋转。旋转等离子体方法在 20 世纪 70 和 80 年代进行了不少实验研究，也进行了分离铀同位素的实验，但至今无大规模生产性的装置。 （撰写：应纯同 审订：刘广钧）

xuanzhuan futeji

旋转伏特计 generating voltmeter 用于测量静电高压的装置，又称感应电压计。它主要由动片、定片和驱动马达组成。动片是一个上面开有数个扇形通孔的金属圆盘，由同步马达驱动旋转并与地相联。定片的几何形状与动片相同，通过电阻与地相连。旋转伏特计的动片和定片正对高压电极。工作时，同步马达按一定转速驱动动片旋转，使定片与高压电极之间的耦合电容随动片对定片的覆盖程度而周期性变化，于是在定片上感应的电荷也随时间而周期性改变，同时在电阻上产生交变电流。当转子伏特计位置固定且动片转速一定时，电流就正比于高压电极电压，但比例系数需用其他方法来校准。知道比例系数后，就可将电阻上的电压经适当处理用来表示高压电极的电压值。静电高压的测量精确度可达 0.5%。这种装置结构简单、使用方便、可连续读出实时电压值而不增加加速器的负荷。目前被广泛应用。 （撰写：杨丙凡 审订：关遐令）

xuanzhuan pingbisai

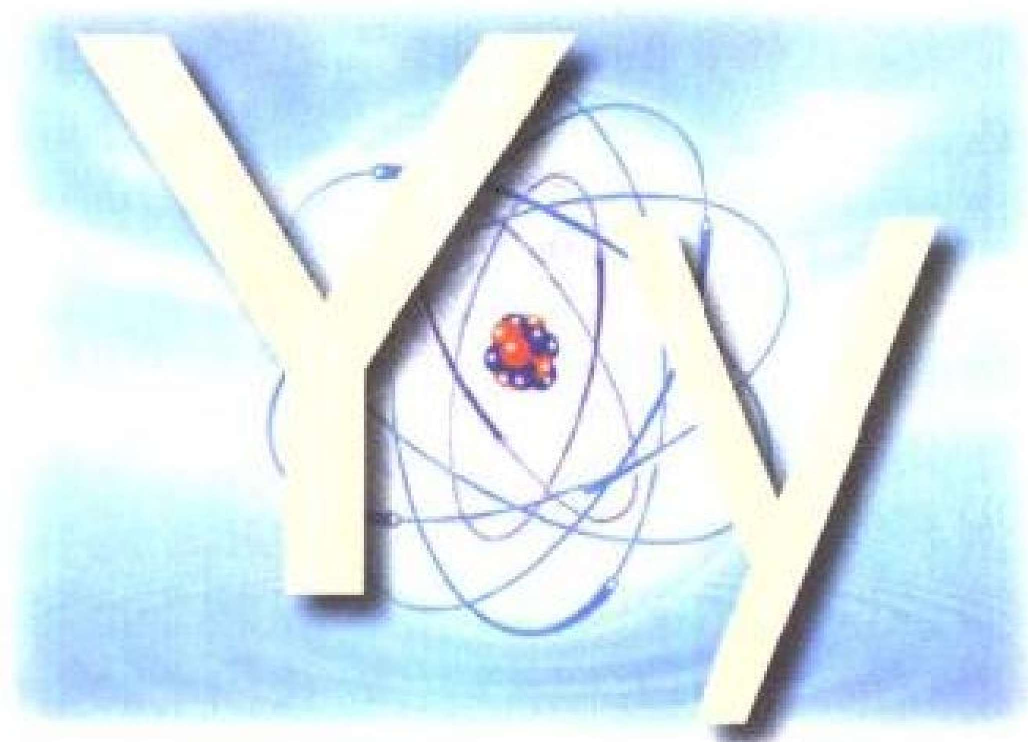
旋转屏蔽塞 rotating shield plug 简称旋塞(rotating plug)。钠冷快堆换料时在高温密闭环境中引导堆内换料机寻址定位的设备。它同时作为反应堆容器的顶盖，具有辐射屏蔽、热屏蔽和密封（动、静）的功能，还是堆顶其他设备的安装支承。旋塞有单旋塞、双旋塞或三旋塞三种结构。目前通常采用双旋塞加直动式堆内换料机的组合换料方案。大旋塞安装于堆顶支撑或堆容器上部支撑颈座上，其中心与堆芯同心，小旋塞偏心地安装在大旋塞内，堆内换料机则偏心地安装在小旋塞上，两个偏心距相等。这样，通过大、小旋塞的复合旋转运动，就可以使换料机的抓手对准堆芯换料区域内任一需要更换组件的位置，实现在高温密闭状态下换料。大、小旋塞的直径及相互偏心大小由堆内换料范围来确定。旋塞主体由钢板、蛇纹石混凝土和含硼石墨等材料相间组合而成，下部有多层热屏蔽板，上部还有专设冷却风道，结构较复杂，质量很大（有的达数百吨），定位精度要求很高。旋塞旋转密封一般采用低熔合金（锡铋合金）的浸渍密封结构。反应堆运行时，合金冷却凝固；换料前，将合金加热熔化，使旋塞在保持反应堆密封的状态下执行换料功能。 （撰写：萧励泽 审订：田传久）

xunhuanbeilü

循环倍率 circulation ratio 流过通道截面的汽—液两相流的总质量流量 m 与其中汽相质量流量 m_g 之比，用 k 表示，即 $k=m/m_g=1/x$，式中 x 为质量含汽率。在热力工程中，k 表征循环回路的工作特点，即单位时间产生 1kg 蒸汽需要的循环水量。

（撰写：郝老迷 审订：陈玉宙）





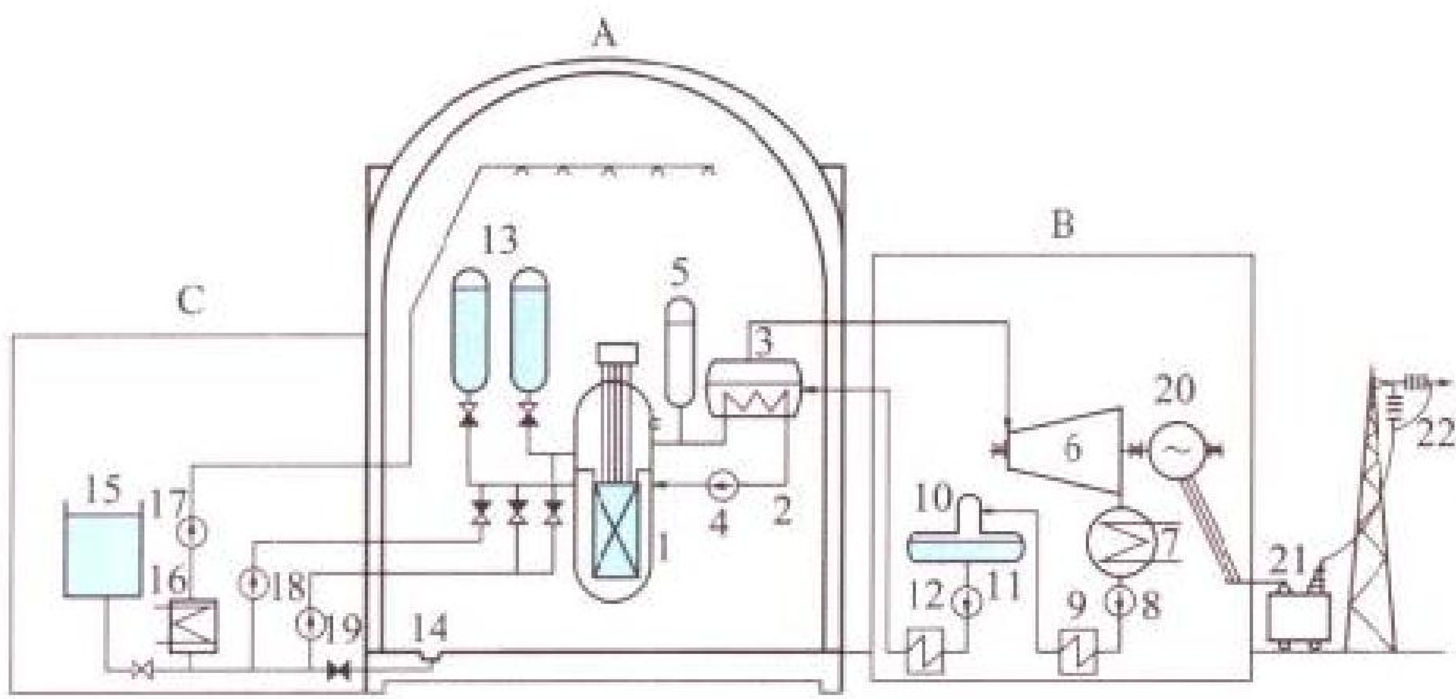
yali bianjie

压力边界 pressure boundary 在运行温度和压力条件下包容反应堆冷却剂的边界，包括压力容器、管道、泵和阀门外壳等承压部件。它们是：(1) 反应堆冷却剂系统的承压部件；(2) 与反应堆冷却剂系统相连接的、直到并包括下述中的一个或全部阀门：① 在贯穿安全壳的系统管道上的安全壳外侧隔离阀；② 在不贯穿安全壳的系统管道上的、反应堆正常运行期间两个常关阀的第二个阀；③ 反应堆冷却剂系统的安全阀和卸压阀。对于直接循环的沸水堆型动力装置，本边界延伸到并包括在主蒸汽管道和主给水管道上的安全壳外侧隔离阀。反应堆冷却剂压力边界是防止放射性物质向外释放的一道重要屏障，因此压力边界内的设备、阀门和管道以及它们的支承，都属于核安全 1 级、抗震 1 类。对它们的设计、制造、安装、调试、运行、维修和在役检查应倍加重视。

（撰写：罗守仁 审订：张维忠）

yashuidui hedongli zhuangzhi

压水堆核动力装置 PWR nuclear power unit 以压水堆为热源的核动力装置。它主要由反应堆、一回路系统、二回路系统及其辅助系统组成（见图）。目前主要用于发电和舰船的推进。一回路系统的功能是将反应堆核裂变放出的热能带出堆芯，传递给二回路系统产生蒸汽，并保持反应堆的正常运行



VVER 型压水堆核动力装置流程原理图

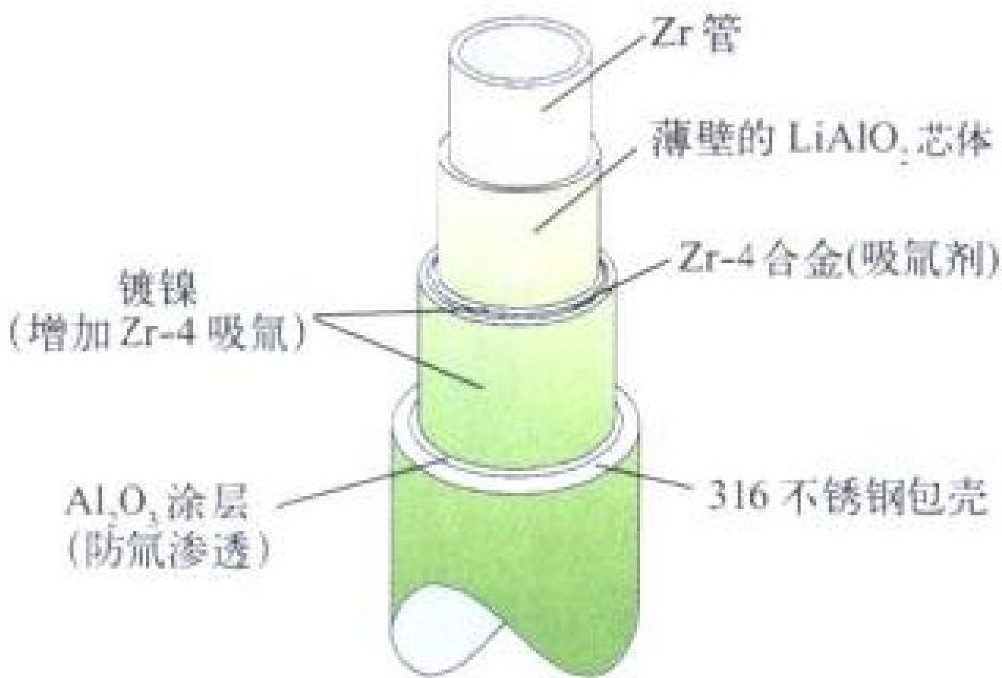
A 双层安全壳 B 汽轮机厂房 C 安全厂房

1—反应堆；2—一回路（4 个环路）；3—蒸汽发生器（4 台）；4—主泵（4 台）；5—稳压器；6—汽轮机；7—凝汽器；8—凝结水泵；9—低压加热器；10—除氧器；11—给水泵；12—高压加热器；13—安全注射罐（4 台）；14—安全壳地坑（4 个）；15—应急加硼箱；16—冷却器；17—安全壳喷淋泵（4 台）；18—高压安全注射泵（4 台）；19—低压安全注射泵（4 台）；20—发电机；21—升压变压器；22—输往电网

和事故安全。大功率压水堆一回路系统一般有二至四条对称并联的冷却剂环路。每条环路有一台或两台冷却剂泵、一台蒸汽发生器和连接管道。整个一回路系统共用一台稳压器。一回路主系统的冷却剂压力依靠稳压器的电加热器和喷雾器自动调节。二回路系统的功能是将蒸汽的热能转化为电能或机械能。二回路系统主要由汽轮机，发电机或减速齿轮（用于舰船推进），凝汽器，高、低压加热器，除氧器，中间汽水分离再热器和管道等组成。为了保证核动力装置系统的安全运行，还设置了许多辅助系统。（撰写：杜圣华 审订：张维忠）

yashuidui taoci chan chuan bajian

压水堆陶瓷产氚靶件 tritium producing target for pressurized water reactor 在压水堆实现辐照产氚的陶瓷靶件。这种靶件由 $LiAlO_2$ 芯体、不锈钢包壳制成。在压水堆内，用 $LiAlO_2$ 陶瓷靶件代替硼硅酸玻璃不仅可起到可燃毒物的作用，而且可经济地生产氚，实现发电产氚两用。$LiAlO_2$ 陶瓷靶件制备工艺较成熟，技术简单可靠，靶件采取吸氚和防氚渗透措施，安全性好。压水堆陶瓷产氚靶件的结构如图所示。

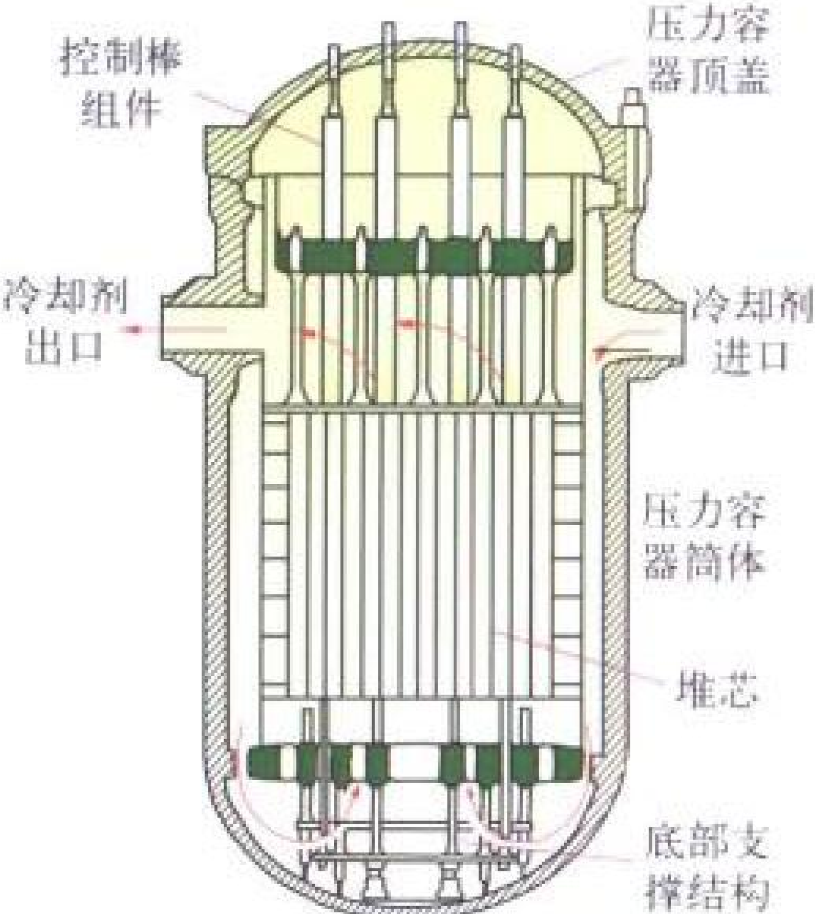


压水堆陶瓷产氚靶件示意图

（撰写：卢浩琳 审订：韩廷德）

yashui fanyingdui

压水反应堆 pressurized water reactor (PWR) 简称压水堆。以加压欠热水为慢化剂和冷却剂的核动力反应堆（见图）。由于主冷却剂回路（一回路）的水温始终比运行压力下的饱和温度低大约 20 ℃，故可以利用液态水的优良传热性能将堆芯中产生的大量裂变能量可靠地传输出来。热量经过蒸汽发生器传至二次侧，把二回路的水变成蒸汽，送往汽轮发电机发电。为了获得较高热效率，一回路水的温度和压力需保持相当高值（约 325℃，15.5 MPa）。轻水的慢化能力特强，而热中子吸收截面较大。前者使得堆芯体积小、结构紧凑、功率密度高（约 110 kW/L）；后者要求使用低富集铀（高于 2%）燃料。压水堆核电厂的发电成本具有较强竞争力，现在世界上已投入运行的核电厂有 64 % 以上（按功率计）采用压水堆。其发展趋向是提高安全目标，简化系统和操作，加深燃耗，延长使用寿期。由于压水堆安全可靠，操作灵活，体积小，重量轻，现在核潜艇和核水面舰船多采用它（参见压水堆核动力装置）。



压水堆示意图

（撰写：连培生 审订：陈叔平）

yasuo zhengfa

压缩蒸发 compressive evaporation 利用溶液被加热时，溶剂汽化产生的低压二次蒸汽通过压缩装置压缩，然后导入加热室作为加热蒸汽，以利用其潜热的一种蒸发方法。其蒸发装置称为压缩（蒸汽）蒸发器。目前用于压缩二次蒸汽的方法有两种类型：机械压缩法和蒸汽喷射压缩法。机械压缩法常用离心压缩机或罗茨型鼓风机。这种蒸发器需要较大的加热面积，而且要小心控制雾沫夹带量。蒸汽喷射压缩法是使用蒸汽喷射器替代压缩机，需要使用高压蒸汽作为工作汽流。

（撰写：骆大星　审订：孙明生）

yahuaxue jiliang fenli

亚化学计量分离 substoichiometric separation 在化学反应中加入少于化学计算量的试剂与待分离物质反应，并使之分离的一种特殊的分离方式。在普通的化学分离过程中，为了使待分离物质尽可能完全反应，常加入大于化学计算量的反应试剂。在亚化学计量分离的情况下，因为试剂量少于待分离物质的化学计算量，所以只有部分待分离物质被分离。换句话说，普通化学分离反应是反应试剂过量，而在亚化学计量分离中是待分离物质过量，即分出物质的量决定于加入试剂的量。亚化学计量分离在放射性同位素稀释分析中得到了应用。在待测样品和标准样品中分别加入相同量的但少于化学计算量的试剂，以及一定量的放射性示踪剂，然后进行分离。根据两种样品的放射性活度以及标准样品中物质的含量，就可计算出待测物质的含量。因为从两种样品中分离出的物质量是相等的，因此就不需要测量样品的比活度，只测相对活度即可。

（撰写：郭景儒　审订：崔安智）

yalinjie lixinji

亚临界离心机 subcritical gas centrifuge 运行转速低于转子的挠性临界转速的离心机。根据力学可知，细长的圆筒有很多特征频率，其特征频率所对应的转子临界圆周线速度

$$v_{\varphi,cr}=2\pi^2n^2\left\{\frac{r_a}{Z_H}\right\}^2\sqrt{\frac{E_{ax}}{\rho}}$$

式中 n 为特征频率的阶数；E_{ax} 为转子材料轴向弹性模量；ρ 为转子的密度；Z_H 为转子的长度；r_a 为转子的半径。取第一阶特征频率，即 $n=1$，得到最低的临界圆周线速度

$$v_{\varphi,cr}=2\pi^2\left\{\frac{r_a}{Z_H}\right\}^2\sqrt{\frac{E_{ax}}{\rho}}$$

运行圆周线速度低于此速度的离心机即为亚临界离心机。亚临界离心机的运转稳定性好。以亚临界离心机装备的离心工厂以其低年失效率和寿命长为特点。

（撰写：应纯同　审订：刘广钧）

yawentai

亚稳态 metastable state 又称同核异能态（isomers）。寿命较长的原子核激发态。它们的原子系数 Z 和质量数 A 相同，但衰变和跃迁方式不同，半衰期也不同。通常用 m 标记以区别于稳定核素。亚稳态的寿命因原子核不同而不同，短的仅为 10^{-2}s，长的可达数年。例如

$${}^{24}_{11}Na^m(0.473\ MeV)\quad \tau=0.02\ s\quad \gamma,\beta^-\text{ 衰变}$$

$${}^{85}_{36}Kr^m(0.305\ MeV)\quad \tau=4.5\ h\quad \beta^-,\gamma\text{ 衰变}$$

亚稳态的存在表明，从这些态到低能级的跃迁概率很小，这通常是由于跃迁能级间角动量差别很大造成的。实验发现，大多数亚稳态存在于奇 A 核中。这些核的奇中子数 N（或奇质子数 Z）都接近（但小于）幻数，在幻数以下附近形成了同核异能素“岛”。偶偶核中的亚稳态较少。

（撰写：张建玮　审订：叶沿林）

yancong qirongjiao celiang

烟囱气溶胶测量 measurement on stack aerosol 对核设施烟囱排放的悬浮微粒，即放射性气溶胶进行监测。烟囱气溶胶测量的首要环节是正确实行烟囱气溶胶采样，只有正确采得了有代表性的烟囱气溶胶样品，对样品的测量才有意义。烟囱气溶胶采样通常都要应用引出管（采样管）将烟囱中的气溶胶粒子引出，进而收集在采样介质上。采样中必须遵循的基本技术规范是：(1) 尽量缩短采样管的长度，以减少粒子在采样管中可能的管壁损失；(2) 伸入烟囱的采样管的入口形状、位置、数目和结构布局等要规范，以保证取到能真实反映烟囱气溶胶浓度特征的样品；(3) 要尽可能实现等速采样（也称同流态采样），即在采样过程中始终保证采样管的入口气流速度等于烟囱中排放气流的速度。对所采得的样品进行何种内容的测量，依烟囱气溶胶的性质而定。对于核设施的烟囱气溶胶样品，主要进行放射性活度测量或相关的核素分析。烟囱气溶胶测量是监查烟囱排放物是否污染大气环境的有力措施。烟囱气溶胶测量可以是单次采样单次测量，也可以是连续采样连续测量。随着监测技术的进步及人类保护环境意识的增强，对烟囱气溶胶的测量将会更加重视，采样测量技术也将更加规范和不断提高。

（撰写：卢正永　审订：赵亚民）

yandaoqi fushe chuli

烟道气辐射处理 radiation treatment of flue gas 利用电子束脱除烟道气中的二氧化硫和氮氧化物的技术。电子束脱 SO_2 和 NO_x 的反应机理是：火电厂和垃圾焚化炉排出的烟道气经电子束照射，其中含有的 N_2, O_2 和 H_2O 产生的各种活性粒子（O，OH 等）与 SO_2 和 NO_x 反应，生成雾状的 H_2SO_4 和 HNO_3。反应物与注入反应器中的 NH_3 作用最终生成硫胺和硝胺，可用作农用化肥。烟道气电子束法处理较之传统方法（例如湿石灰法、氨催化还原法等）的特点是：同时脱硫脱氮，脱除率高，可分别达到 94 % 和 84 %；属干式脱硫法，无废水废渣排放，无二次污染；操作简便，运行安全可靠；副产物可用作化肥，实现废物资源化；装置和运行的成本较低、占地面积小。电子束处理烟道气的研究起始于 20 世纪 70 年代初，目前已进入产业化试验阶段，是一项极具前景的高技术。

（撰写：包华影　审订：吕延晓）

yanyu jinmo zhaoshe

烟羽浸没照射 immersion exposure by radioactive plume 核设施排出的放射性气载污染物在环境中形成放射性烟羽，当人们停留在这种烟羽中或在其下方时将会受到烟羽中放射性核素的 β，γ 射线照射，这种照射称为浸没外照射。同样，对于水体，也同样对在放射性污染水域中游泳的人产生外照射，这种照射称为地面水的浸没照射。

（撰写：张永兴　审订：胡逢全）

yanyu yingji jihua qu

烟羽应急计划区 plume emergency planning zone 针对烟羽

照射途径(烟羽浸没外照射、吸入内照射和地面沉积外照射)而建立的应急计划区。该区需要做好对公众实施隐蔽、撤离、碘预防等防护行动的准备。多数国家烟羽应急计划区的半径不大于 10 km(美国例外,为 16 km)。我国未对核电厂烟羽应急计划区的大小作统一规定。目前运行中的两个核电厂(秦山和大亚湾核电厂)烟羽应急计划区的大小分别为 7 km 和 10 km。最近,国际原子能机构提出了新的应急计划区划分的方法,用预防性行动区和紧急防护行动计划区代替目前仍在使用的烟羽应急计划区。

(撰写:陈竹舟　审订:施仲齐)

yanmo fushe

湮没辐射 annihilation radiation　见正电子湮没。

yanzhong shigu

严重事故 severe accident　核反应堆堆芯严重损坏,并有可能破坏安全壳的完整性,从而造成环境放射性污染及人身伤亡,产生巨大损失的事故。现有核设施基于纵深防御原则,设置了多道屏障及专设安全设施,采取了严格质量管理和操纵员选拔培训制度,同时,核设施选址也有严格要求,因而核设施抵御外来灾害和内部事件的能力很强。对比与只考虑单一故障为特征的设计基准事故,严重事故又称为超设计基准事故。

严重事故的发生概率虽然低,但并不是不可能发生的。在核电史上,已发生 1979 年的三里岛核电厂事故和 1986 年的切尔诺贝利核电厂事故。这说明,单纯考虑设计基准事故,不考虑严重事故的防止和缓解不足以确保工作人员、公众和环境的安全。因此,认真研究严重事故,采取对策来防止严重事故的发生和缓解严重事故的后果十分必要。堆芯熔化导致大量放射性释放的过程可以分为两种不同的类型,即高压熔化过程和低压熔化过程。低压熔化过程以主系统冷却剂丧失为特征,高压熔化过程一般以失去热阱为先导事件。高压熔化过程在压力容器下封头熔穿后会发生熔融物质向安全壳空间喷射弥散,造成"直接安全壳加热",使安全壳超压失效,后果严重,尤其要防止。

对于现有的核设施,国际上认为:由于这些核设施的安全设计主要考虑设计基准事故,有可能在应付严重事故方面存在着某些薄弱环节。为此,对现有的核设施应做出各类严重事故序列分析,找出安全上的薄弱环节。解决的办法是:硬件方面不做大的改动,而是努力完善运行规程以及与之配套的控制室布局调整,进一步强化操纵员的选拔与培训,尽量提高运行水平,从而达到预防严重事故发生的目的。为了进一步提高核设施的安全性和经济性,使公众能够接受,美国和欧洲国家,继之日本和韩国电力公司组织编制了"电力公司要求文件",提出新一代核设施的要求,建立了降低严重事故概率的先进轻水反应堆的技术基础。电力公司要求文件也得到了核安全部门的认可和支持。由此而建造的先进堆的工程正在进行中。

(撰写:俞尔俊　审订:董柏年)

Y

yanzhong shigu chuli guicheng

严重事故处理规程 severe accident procedure　当核电装置无法执行所有事故处理规程,事故工况有可能演化为严重事故时所执行的一种特殊操作规程。一般而言,严重事故处理规程按两类处理原则编制:第一,在正常运行时处于在线备用状态并且在事故时应自动启动的多重安全系统失效时,设法利用现场特殊手段(如接通临时管线)恢复安全系统的功能,中止事故演进,避免堆芯损坏;第二,一旦堆芯损坏和熔化已不可避免,设法防止包容裂变产物的安全壳失效,避免或延缓裂变产物释入环境。

(撰写:廖伟明　审订:钱锦辉)

yanbao

岩爆 rock burst　矿床深部开采的井巷、硐室和采场围岩在高应力的作用下,岩体中积聚的应变能突然猛烈地全部释放,好像在岩体中放入炸药一样,造成大量岩石崩落并伴随着气浪冲击和巨响,这种现象称为岩爆。岩爆必然是发生在高应力作用下的脆性岩体中。如果岩体具备某些形式的塑性应变,能使应变能逸散,即使它处在高应力作用下,也不会发生岩爆。铀矿山与有色金属矿山类似,根据释放的能量大小,将岩爆分为五级,具体见表。

岩爆级别表

岩爆级别	微岩爆	弱岩爆	中等岩爆	强烈岩爆	灾害性岩爆
释放的能量/J	< 10	$10\sim10^2$	$10^2\sim10^4$	$10^4\sim10^7$	$>10^7$
发生的地震烈度	< 1	1~2	2~3.5	3.5~5	> 5

(撰写:丁德馨　审订:李开文)

yanshi dengji

岩石等级 rock classification　岩石是一种或多种矿物组成的集合体,它们的结构构造、物理力学性质和破裂特点各异。为了在不同岩石性质情况下准确地选择采掘方法,进行成本核算和确定劳动生产定额,按岩石硬度的不同分成若干等级,称之岩石等级。我国铀矿山用坚固性系数 f 值大小表示岩石的坚固程度。实质是用岩石单向极限抗压强度除以 100 的值,共分为十个等级,它只能概略性地反映岩石不同的工程性质。具体如表所示。

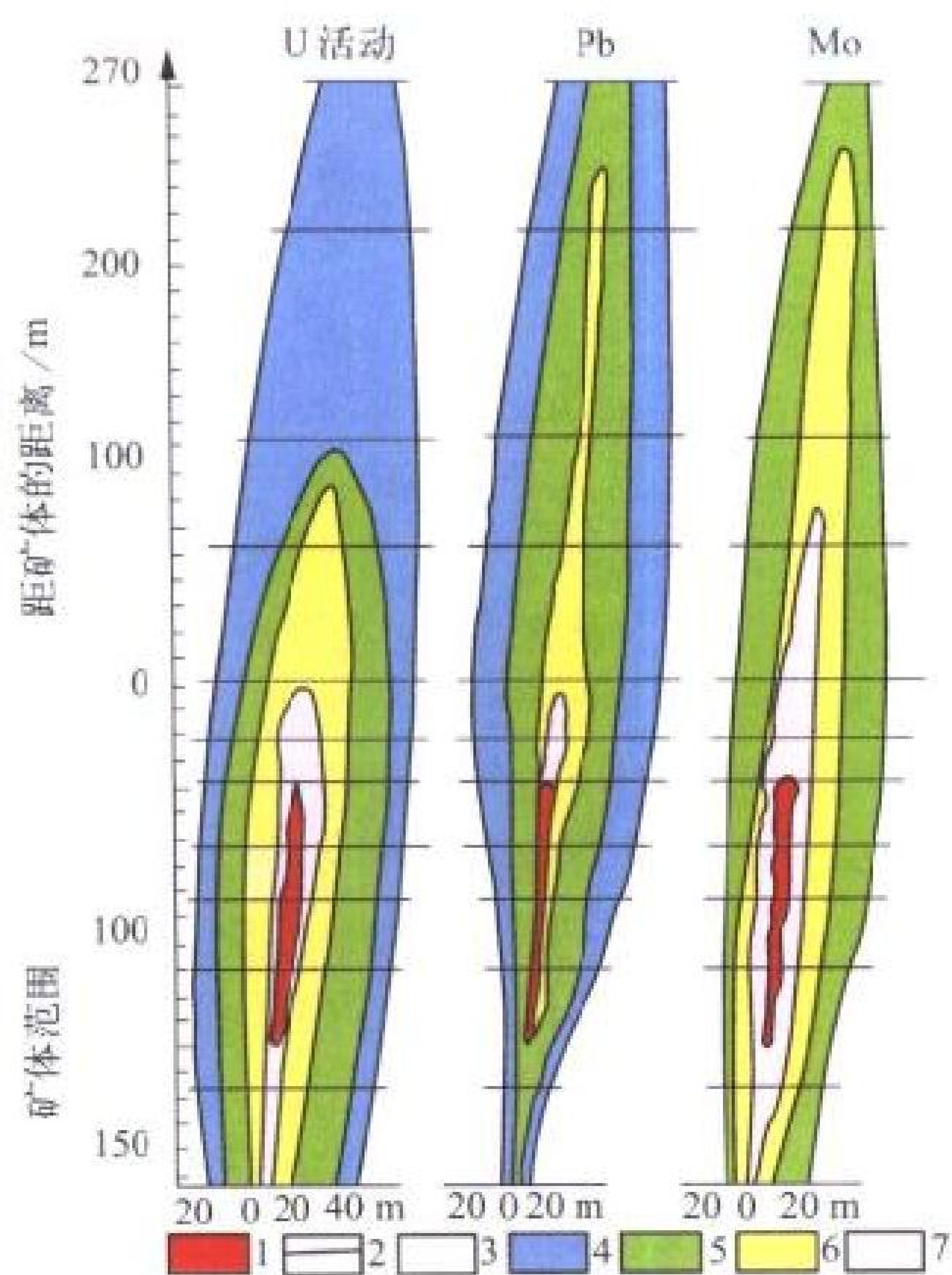
岩石等级表

坚固性程度	最坚固	很坚固	坚固	坚固	较坚固	较坚固	中等	中等	较软固	较软固	软固	软固	土质岩石	松散性岩石	流沙性岩石
等级	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	$Ⅲ_a$	Ⅳ	$Ⅳ_a$	Ⅴ	$Ⅴ_a$	Ⅵ	$Ⅵ_a$	Ⅶ	$Ⅶ_a$	Ⅷ	Ⅸ	Ⅹ
f 值	20	15	10	8	6	5	4	3	2	1.5	1.0	0.8	0.6	0.5	0.3

(撰写:王昌汉　审订:李开文)

yanshi diqiu huaxue pucha

岩石地球化学普查 lithogeochemical reconnaissance survey　又称岩石地球化学测量。通过系统采集、分析岩石样品,发现赋存于其中的有关元素的原生晕,进行找矿的方法。原生晕在成矿作用过程中与矿体同时形成,并分布于矿体周围基矿中的成矿元素及其伴生元素含量增高(减少)的地段。通常,原生晕具有垂直和水平分带性(见图),其成分和矿体基本一致,其规模远大于矿体,可用作直接找矿标志。在区域和普查阶段,可用于调查测区地层、岩体和构造的含矿性、评价测区成矿远景。



铀矿体周围原生晕的垂直横断面及其分带图

1—矿体；2—取样中段，原生晕中元素的含量（背景值的倍数）：

3—U ≤ 1.5，Pb ≤ 2，Mo ≤ 5；4，5，6—U, Pb, Mo 含量依次增高；

7—U ≥ 50，Pb ≥ 50，Mo ≥ 50

（撰写：蒋永一　审订：李家俊）

yanjiu fanyingdui

研究反应堆 research reactor　利用易裂变核素的可控裂变链式反应所产生的射线束（如中子和γ射线）作为研究手段的核反应堆，简称研究堆。该装置所引出的射线流主要用作基础研究和应用研究，也可用以生产放射性同位素和进行材料试验等。这类反应堆有零功率堆、低中子注量率研究堆、高中子注量率研究堆、脉冲堆和材料试验堆等。根据慢化剂、燃料种类、堆结构和运行原理的不同，研究堆主要有下列类型：游泳池堆、罐式堆、U-H-Zr 脉冲堆（TRIGA）和快中子试验堆。中子注量率是研究堆的一个重要技术指标。目前世界上最高性能研究堆的中子注量率已高达 10^{15} $cm^{-2} \cdot s^{-1}$ 的量级。研究堆上一般都装有各种实验设施，如引出热中子束流的水平孔道、进行样品照射的各种实验孔道、可以进行燃料元件或材料辐照试验的试验回路等。据此就可以进行中子物理、固体物理、辐射化学、分析化学、生物医学以及反应堆材料、燃料元件等的试验研究。我国的第一座研究堆是 1958 年从苏联引进的重水研究反应堆。此后相继建成了几座游泳池轻水反应堆和高注量率材料试验堆。

（撰写：黄道立　审订：陈叔平）

yanhuibi

盐灰比 salt cement ratio　水泥固化时掺入的废液盐分与水泥的质量比。盐灰比是评价放射性废液水泥固化配方的一个重要参数。原则上讲，盐灰比高好，因为盐灰比高，固化体的废物包容量大。但盐灰比直接影响混合灰浆和固化体的多种特性，如初凝时间、流动度、抗压强度、核素浸出率等。水泥固化与传统的水泥、混凝土工艺不同，水泥固化使用放射性废液代替淡水来与水泥拌合。废液中的盐分不是惰性集料，而是有可能与水泥起反应的化学物质。它们与水泥的相容性必须进行研究。因此，合适的盐灰比需要通过配方研究来确定。

（撰写：曾继述　审订：范显华）

yanxi qingjing

演习情景 exercise scenario　为组织和进行演习，对同时发生的或相继发生的事件的描述，这些事件的集合，描述了模拟的事故或与核设施运行的相关工况。模拟的工况为实施与评估应急演习或练习创造了一种环境。演习情景一般包括的内容有：名称，给演习考官和评判的指令，响应的描述，事件的序列，事件的详细描述（技术资料，通知，地图和计划），评判的检查项目清单等。在编制演习情景之前，必须确定拟定的演习目标。好的演习情景应反映并支持各种应急演习的目标。大体上，它可以设计来检查应急准备的场内目标、场外目标和联合目标中的每一个，或者这些目标的组合。编制演习情景的人员必须对拟进行演习的核设施、厂址及其环境状况以及对该特定核设施的设计、建造、运行和安全分析有很多的了解。为了检查应急计划而设计的演习情景，可能明显不同于用来进行风险分析或者为设计或选址目的而进行的安全评价描述的事故。为有效地使用参加演习的人员投入到演习中的时间，把情景中某些事件的时间尺度压缩或延展是可取的。气象条件可以使用演习当时的气象条件，也可以预先规定。在演习情景设计时应考虑到：在演习中有广泛的公众介入，一般是不现实的；但有限的公众介入是有价值的，这样可以检查执行防护措施的程序。演习的情景一定不能搞得过于复杂；演习情景应当以容易领会的形式编写和发布，并应允许演习参加者的响应有一定的灵活性。

（撰写：施仲齐　审订：陈竹舟）

yanghua huanyuan guodudai

氧化还原过渡带 redox transitional zone　位于层间氧化带前沿，已氧化和未氧化岩石之间的一条狭长过渡带。氧化还原过渡带的特点是：黄铁矿和褐铁矿共存；水中的游离氧在层间流动过程中在该带内被迅速耗尽，氧化—还原电位急剧下降为负值；由层间含氧地下水带来的部分 6 价铀还原为 4 价铀，使铀不断富集，进而形成工业铀矿体。

（撰写：胡绍康　审订：赵凤民）

yanghuawu misan qianghua buxiugang

氧化物弥散强化不锈钢 oxide dispersion strengthened stainless steel　将超细陶瓷氧化物粉末经机械合金化工艺弥散于母合金粉末中，经热压形成的高强度铁素体/马氏体不锈钢，简称 ODS 不锈钢。ODS 不锈钢在高燃耗下的辐照肿胀比奥氏体不锈钢的小，其高温强度比铁素体不锈钢的高。生产 ODS 不锈钢的主要步骤为：先制备纳米级的 Y_2O_3 或 Ti_2O_3 粉末及微米级的金属铁、铬、钼、钛等粉末；再将它们放入超微磨碎机中研磨，使氧化物微粒弥散于母合金粉中，然后将粉末混合物置于钢盒中进行热压，形成密度接近于该合金理论密度的 ODS 金属锭。最后，去掉钢盒经热挤、热轧、反复冷拔与退火及最终热处理等工序制成成品管。ODS 不锈钢是有发展前景的新一代快堆包壳材料。

（撰写：张汝娴　审订：李文埮）

yangxiaoying he yangzengbi

氧效应和氧增比 oxygen effect and oxygen enhancement ratio　受照射的生物系统如组织、细胞或分子的辐射效应随介质中氧浓度升高而增加，这种现象称为氧效应。在缺氧条件下引起一定效应所需辐射剂量与有氧条件下引起同样效应所需辐射剂量的比值称为氧增比（OER）。各种生物体系，从生

物分子、细菌、哺乳动物细胞或肿瘤细胞都存在氧效应。在有氧或无氧条件下照射，存活曲线的斜率不同，有氧的存活曲线斜率显著增大，表明放射敏感性明显增高，在一定效应水平上所需的照射剂量不同，有氧时引起相同效应的剂量要低于无氧时的剂量，一般用 OER 来衡量氧效应的大小

$$\text{OER}=\frac{\text{缺氧条件下产生一定效应的剂量}}{\text{有氧条件下产生同样效应的剂量}}$$

对于低 LET 辐射其氧效应大而重要，如 X 和 γ 射线，OER 值一般为 2.5～3，高 LET 辐射时，OER 减少，甚至没有氧效应。肿瘤中的乏氧细胞对辐射的敏感性极低，分次照射可使乏氧细胞变成氧合细胞，从而提高乏氧细胞的放射敏感性，这是提高放疗效果的重要理论依据。

（撰写：苏燎原　审订：孙世荃）

yangyoubi

氧铀比 ratio of oxygen to uranium　氧化铀粉末和芯块中氧与铀的摩尔比。以 O/U 表示。UO_2 属非化学计量化合物，高温下生成亚化学计量 UO_{2-x}（$X>0$），降至室温又转变为超化学计量 UO_{2+x}（$X>0$），晶格中相应出现阴离子空位和阳离子间隙。这些缺陷结构的大小影响到 UO_2 的物理、力学性能。例如：UO_2 的热导率随 O/U 的减小而增大；其熔点随 O/U 偏离 2 而降低；当 O/U=2 时，UO_2 在 1873 K 才出现塑性，而 O/U > 2 时，该温度便降至 1073 K。因此，在燃料的技术指标中应规定 UO_2 的 O/U 值，一般压水堆选用 O/U 略大于 2.00。对 $(U,Pu)O_2$ 燃料，该比值以氧／金属比（简写为 O/M）表示，对快堆应选 O/M < 2.00，这样有利于抑制芯块与包壳的化学相互作用。在生产中需通过控制烧结气氛来调整产品的 O/U 比。（撰写：李文埃　审订：张忠岳）

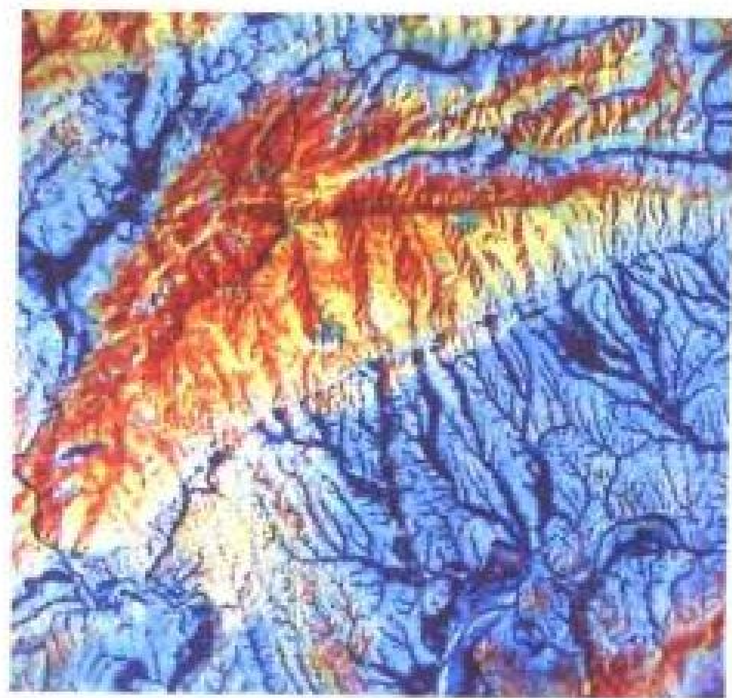
yaogan dizhi

遥感地质 remote sensing geology　遥感技术和地球科学密切结合形成的新边缘学科。遥感地质应用遥感技术原理、方法获取地质信息，研究地学问题，具有常规地质方法无法相比的宏观、准确、快速和低成本的优势。广泛应用在区域地质、矿产地质、环境地质、工程地质、水文地质、地震地质与灾害地质等地学领域。遥感地质经历了从航空到航天两大阶段。发展方向主要表现在以下三方面：(1) 高光谱分辨率、高空间分辨率、高辐射分辨率航天遥感数据和多频段、多极化、多视向航天成像雷达遥感数据的开发应用；(2) 遥感数字图像处理方法的更新与遥感系统、地理信息系统和全球定位系统的集成技术的应用；(3) 遥感地学机理的探索。

（撰写：何建国　审订：黄贤芳）

yaogan tuxiang

遥感图像 remote sensing image　利用安装在航空或航天遥感平台上的遥感器，采用摄影或扫描方式，从空中获取的影像或数据经后处理形成的地球表面实际图像（见图）。遥感图像按遥感平台分为航天、航空遥感图像；按遥感的电磁波波长分为可见光、近红外、热红外和微波遥感图像；按图像的颜色分为黑白和彩色遥感图像；按形成图像波段的多少分为单波段和多波段遥感图像。



江西修水雷峰尖地区
遥感图像

（撰写：何建国　审订：黄贤芳）

yaokong houzhuangji

遥控后装机 remote after loading system (RALS)　远距离控制放射源对病灶实施近距离照射的治疗装置。遥控后装机一般由治疗头、放射源贮存器、传输系统和控制系统组成。治疗头可先行直接插入人体天然腔（或管）内，通过后装送入的颗粒状与线状放射源（如 ^{60}Co, ^{137}Cs, ^{192}Ir, ^{252}Cf 等）杀伤癌细胞。遥控后装机根据使用的放射源不同有 γ 射线后装机，中子后装机之分。电子计算机的应用，使遥控后装机功能进一步完善，并朝智能化方向发展，确保了放射治疗的准确性、安全性和可靠性。目前常用的 ^{192}Ir γ 射线后装机在治疗颈部、乳房、气管、食道、宫颈等部位的癌症，疗效显著。

（撰写：吕廷晓　审订：蔡善钰）

yedi moxing

液滴模型 liquid-drop model　将原子核看成带电的液滴、核内的核子当做液滴分子的一种核模型。液滴模型的主要实验根据：一是原子核平均每个核子的结合能几乎是常量，即核的结合能与核子数成正比，这说明核子间的相互作用力具有饱和性；二是核物质密度几乎是常量，即原子核的体积近似地与核子数成正比，这说明原子核的不可压缩性。这些实验事实表明，原子核与液滴相类似。由于质子带正电，所以液滴模型把原子核当做带电的液滴。液滴模型是最早提出的一种核集体运动的宏观模型。根据液滴模型，原子核的结合能主要包含体积能、表面能和库仑能，再加上考虑量子效应引起的对称能和体现核奇偶效应的对能，所得到的结合能半经验公式，可以较好地解释原子核结合能的实验事实。用液滴形变还可以成功地解释原子核的裂变现象。但原子核内的核子数不太多，只能算是一个“小液滴”，而且原子核内的密度也不均匀，在核表面有一定厚度的弥散层，因此原子核的液滴模型只是一种粗糙的近似。

（撰写：郑春开　审订：卢希庭）

yefan

液泛 flooding　萃取设备运行的一种不正常运行工况。由于操作条件控制不当或一相流量变化太大或界面污物不断积累等原因，出现萃取设备中某一相积累，使其出口流量逐渐减少的现象。严重时还会造成某一相停止出料，而另一相从此相出口大量涌出的情况。此时萃取设备发生了液泛。准确判断液泛点及液泛负荷是研究萃取设备水力学性能的重要内容。一般判断液泛点较为困难，这是因为液泛的出现有一个逐渐形成的过程，要综合分析有关因素，测定其液泛曲线，确定不同条件下的液泛负荷。为了保证萃取设备的稳定运行，所选取的操作负荷应远离液泛点，在兼顾传质效率的情况下，一般取液泛负荷的 60 %～75 %左右。

（撰写：杨祖辉　审订：郑华铃）

yeti heranliao

液体核燃料 liquid nuclear fuel　使用时呈液态的核燃料。与固体燃料相比，液体燃料具有无辐照生长和肿胀问题，功率密度高，反应堆堆芯结构简单，在高温低压下运行，安全性好，可连续添加燃料等优点。早期曾使用一定浓度的硫酸

Y

铀酰或硝酸铀酰水溶液、液态金属（铅—铋合金）和熔盐（$^{7}LiF-BeF_2-ZrF_4-UF_4$）作液体核燃料；也曾选用 UO_2 或 $ThBi_2$ 弥散在 NaK 或铋中的悬浮体作增殖材料；铅—铋合金的成分为 ^{235}U 600～1000 μg/g，阻蚀剂 Zr 250 μg/g，除氧剂 Mg350 μg/g。但水溶液和液态金属燃料因主回路被严重腐蚀而停用。熔盐中添加 ZrF_4 是为了避免因 UO_2 的析出而引起燃料成份的变化。虽然这类燃料对结构材料的腐蚀有所缓和，但由于连续后处理工艺难以解决而至今也未能实用。

（撰写：李文埮　审订：张忠岳）

yeti shanshuo jishuqi

液体闪烁计数器 liquid scintillation counter　一种用液体闪烁体测量低能 β 和 α 辐射的仪器。该种仪器通常由探测器（包括样品室、样品瓶、光导、光电倍增管和屏蔽套等）、电子学线路（包括前置放大器、快符合单元、主放大器、分析器、定标器、门控电路和电源等）、自动换样装置和数据处理机四部分组成。闪烁计数器的工作原理：将放射性溶液和闪烁液放在样品瓶中均匀混合，闪烁溶液中的放射性核素放出的 β 或 α 射线激发闪烁溶液，从而使闪烁液体发出与光电倍增管光阴极相匹配的荧光。此荧光通过光电倍增管转变成电脉冲，再由电子线路记录上述脉冲信息即可获得所测放射性核素的活度。由于液体闪烁计数器测量放射性核素时是将样品放在闪烁液内部，因此避免了一般核辐射探测器的窗吸收。此外，由于样品是分散的，也避免了样品的自吸收，几何效率可达 100 %。但是，由于样品进入闪烁液内部，因此对闪烁液体本身的性质有影响，并使得闪烁液射出的荧光光子数目减少（称为猝灭现象）。样品的性质和数量不同，探测器的效率也就不同，因此，对于不同数量或种类的样品，都需要分别确定测量效率（通称为猝灭修正）。液体闪烁计数器主要用来解决在生物学、医学、卫生、化学、环境保护、水文、气象与考古等方面广泛应用的放射性核素 ^{3}H 和 ^{14}C 的测量问题，也可以用于测量几乎所有的放射性核素。近代的液体闪烁谱仪（带有微处理机）能自动换样、自动进行猝灭修正，直接给出最后结果。

（撰写：汲长松　审订：彭华寿）

yeti shanshuoti

液体闪烁体 liquid scintillator　一种由有机闪烁物质溶在芳香族溶剂中构成的有机闪烁体。液体闪烁体的溶剂通常为一至两种。最常用的溶剂有甲苯、二甲苯等。液体闪烁体的溶质是一种闪烁物质，或者是一种闪烁物质和一种移波剂的混合物。加料液体闪烁体则还有一至两种溶质。液体闪烁体的主要特点是：闪烁衰减时间短（2.5～4 ns）；透明度好；制备容易、成本低、体积形状不受限制；易引入必要的灵敏物质。液体闪烁体的种类很多，成分各异，性能也有较大差别。按用途主要分为 α, β 内计数用闪烁体；中子，γ 波形甄别用闪烁体；含氢多的快中子闪烁体；不含氢对中子不灵敏的 γ 闪烁体；用于测量不溶性试样，或含水悬浮液的凝胶闪烁体；含有重金属元素（如锡、铅、钐等）以提高对 γ 探测效率的闪烁体及含有中子灵敏物质以提高对热中子探测效率的闪烁体等。后面这两种统称为加料液体闪烁体。灵敏物质的引入往往会降低能量转换效率。氧是最常遇到的闪烁猝灭物质，因此在制备液体闪烁体进行有效的除氧是极为重要的。液体闪烁体广泛应用于探测 α, β, γ, 中子及宇宙射线等。特别是对低能 β 辐射（如氚的 β 辐射）能得到较高的探测效率。

（撰写：汲长松　审订：彭华寿）

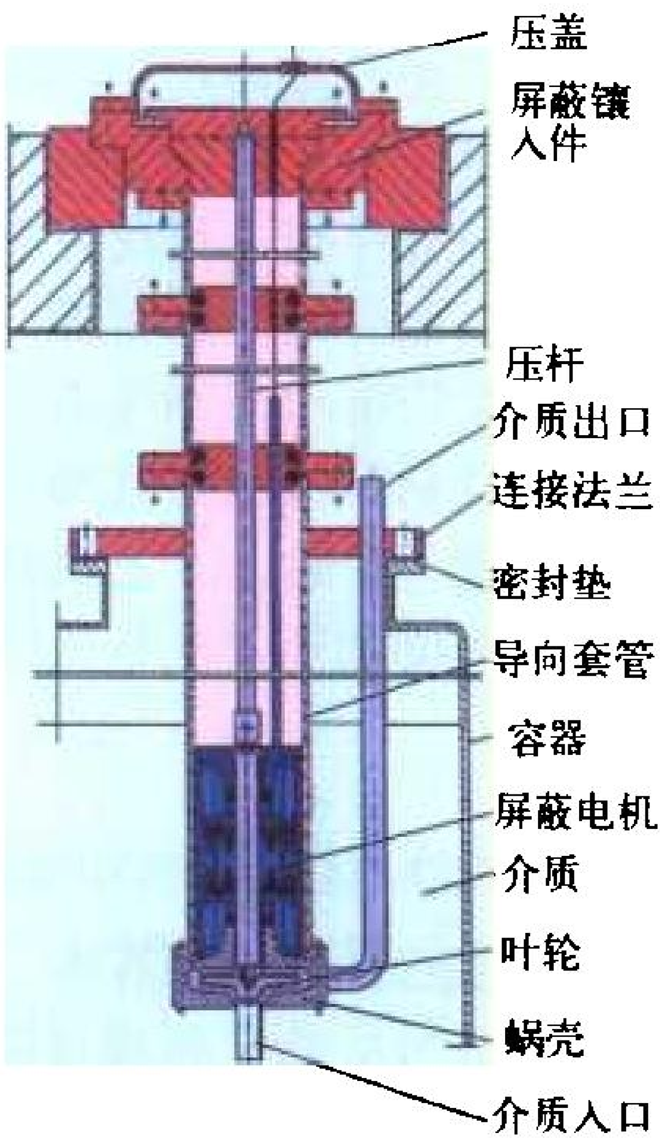
yetizhong de fangdian

液体中的放电 discharge in liquid　在液体介质中的放电。早期它采用大能量放电，由于液体的不可压缩性，产生的压力迅速向外传播，亦称水锤效应，它可用于机械成形工艺。在特殊配制的液体中的电极，如含铝或钛的工件上，由在直流电压上叠加脉冲的电源供电，可在液体中产生微弧放电。空间上无规运动的每个弧都很小，形成宏观均匀的放电，水中的氧使表面氧化，可产生不同色彩的保护膜。利用浸于水中的高电压（30～50 kV），大电流（几十千安）的短脉冲放电产生的高温等离子体、自由基、紫外线的作用以及由于液体的不可压缩性，高温等离子体迅速膨胀产生的冲击波，打断有机化合物链结构，最终变为 CO_2, H_2O 等简单分子，可有效地处理 TNT、制药、农药等含有机分子的废水。

（撰写：钱尚介　审订：黄　林）

yexia pingbibeng

液下屏蔽泵 shielded pump in the liquid　用于输送放射性液体的、其屏蔽电机浸没于料液中的离心泵。通常用于输送硝酸料液及其他类似料液，工作温度≤ 60℃。液下屏蔽泵一般垂直穿过屏蔽盖板安装于设备室里的化工容器中。液下屏蔽泵的特点是屏蔽电机靠近叶轮，使其连接轴很短，克服了长轴的诸多弊端，关键技术是电机转子和定子的密封、耐蚀、耐辐照及用料液冷却电机等。如图所示，液下屏蔽泵的结构按快速检修设计，检修时先取下压盖，专用的检修容器就位之后可将泵芯（包括压杆、屏蔽电机和叶轮）向上吊进检修容器中，再吊到检修站进行去污检修，然后再吊回就位，在大修时也可将连接法兰松脱后的整个液下屏蔽泵吊出进行检修。液下屏蔽泵被用于后处理厂、核化工厂等核工厂中。



液下屏蔽泵示意图

（撰写：许源振　审订：郑华铃）

yezai fangshexing

液载放射性 liquidborne radioactivity　以液体形式存在、输运和弥散的放射性物质。液载放射性物质包括水溶液中的溶剂、溶质、悬浮物。液载放射性是放射性物质进入环境的重要途径。为了保证环境安全，对于核设施以液载放射性形式向环境排放的放射性核素种类、数量、以及排放总量要加以限制。液载放射性在排放之前要进行取样分析，合格后方可排放。排放期间还要进行监测。另外，对于受纳水体也要进行监测，要了解排出的放射性在受纳水体中的扩散、稀释、沉积以及在动植物中的积累。

（撰写：赵亚民　审订：潘自强）

yici pingbi

一次屏蔽 primary shielding　习惯上，将反应堆堆芯的屏蔽称为一次屏蔽。它的作用是将反应堆堆芯这个反应堆设施中最为巨大的辐射源在功率运行时产生的中子和 γ 辐射降低到周围设备、材料辐照损伤所允许的水平，或者在工作人员需

要进入的部位使辐射降低到相应辐射分区所要求达到的水平。对于那些停堆后需要进入维修的部位，要使该处由于中子辐照产生的剩余活化和堆芯的辐射水平降低到不影响操作的程度。一次屏蔽体通常是堆本体结构的一部分。在移动式反应堆装置的工程设计中，它的设计优化，特别是做到体积小、重量轻方面，对工程有着至关重要的影响。由于工艺上的需要，一次屏蔽通常不是全封闭的整体结构，它会存在不少的孔洞、贯穿件及连接件等组成的薄弱环节。巧妙地布置这些孔洞、贯穿件的位置和形状，选用更为有效的填补屏蔽材料，最后达到屏蔽效能的一致性是一门复杂的设计艺术。

（撰写：华 旦　审订：吴德强）

yici pingzhang

一次屏障 primary barrier　直接包容易裂变材料或其他放射性物质的屏障，如工艺设备、手套箱、燃料包壳和包容容器等。在核电厂的三道密封屏障中（燃料元件包壳、反应堆冷却剂压力边界和安全壳），一次屏障一般指燃料元件包壳。正常运行时，大部分放射性裂变产物保持在燃料芯块内，部分气态的裂变产物在芯块与包壳之间的气隙内，燃料元件包壳将全部裂变产物密封在其内部。但一次屏障的概念是相对的，例如对于冷却剂中产生的活化产物，反应堆冷却剂压力边界为一次屏障。生产堆和研究堆一般也均有耐一定温度、耐腐蚀的燃料元件包壳和反应堆冷却剂压力边界。对于裂变产物，燃料元件包壳是一次屏障，但对于冷却剂中产生的腐蚀活化产物，反应堆冷却剂压力边界是一次屏障。除此以外，在操作易裂变材料或放射性物质的场所或小室，为防止放射性物质的泄漏，一般以工艺设备自身、手套箱和包容容器等实施实体屏障的功能。这些实体屏障，有的是密封的，有的是非密封的。

（撰写：刘 华　审订：吴德强）

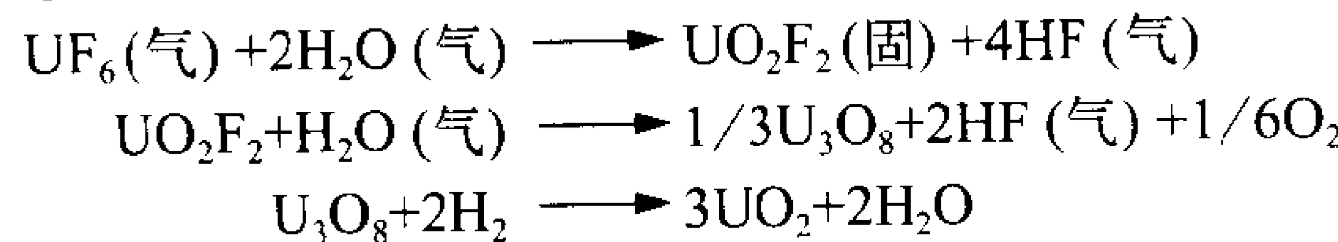
yici tongguoshi heranliao xunhuan

一次通过式核燃料循环 once-through nuclear fuel cycle　乏燃料不进行后处理而被直接永久处置的核燃料循环。由于燃料只通过反应堆一次，铀、钚不回收重复使用，故称一次通过式燃料循环，又称开式燃料循环。在一次通过式燃料循环中，轻水堆乏燃料元件经几十年冷却后直接包装或经切割包装，送到深地层的核废物最终处置库永久性贮藏。这一方案的研究仍不充分，还没有付诸实施。

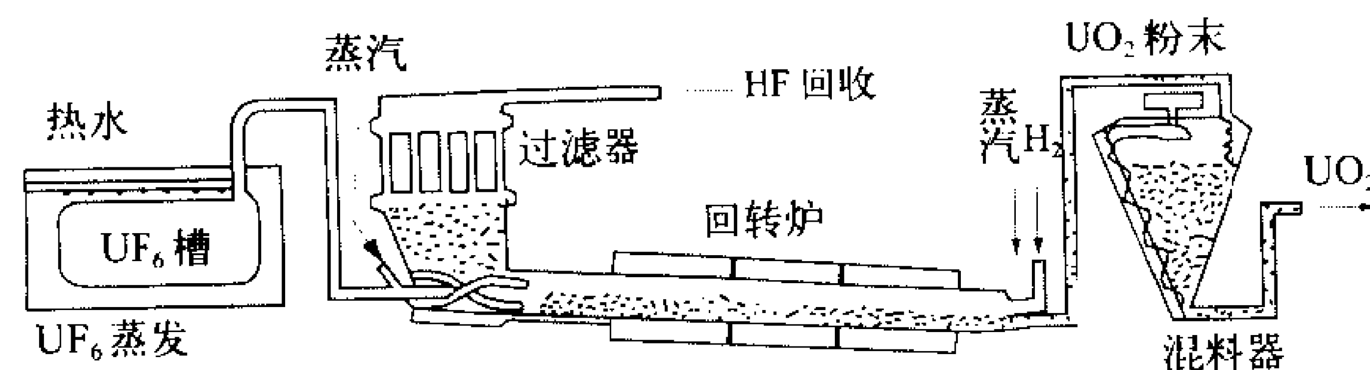
（撰写：章泽甫　审订：朱永瞻）

yitihua ganfa gongyi

一体化干法工艺 integrated dry route (IDR)　在反应器中将 UF_6 与蒸汽和 H_2 的混合气体反应而转化成核纯级 UO_2 陶瓷粉末的流程。反应器可采用回转炉（见图）或流化床。转化按以下三步进行



$$UF_6(气)+2H_2O(气) \longrightarrow UO_2F_2(固)+4HF(气)$$
$$UO_2F_2+H_2O(气) \longrightarrow 1/3U_3O_8+2HF(气)+1/6O_2$$
$$U_3O_8+2H_2 \longrightarrow 3UO_2+2H_2O$$



生产 UO_2 粉末的一体化干法示意图

回转炉分前后两段，前段为水解区，后段为水解—还原区。其温度分别控制在 873～973 K 和 1033～1073 K。回转炉的生产能力可达 40～50 kg/h 铀。该法的优点是流程短、产量大、废液量少、铀的回收率高和环境污染小。其缺点是只适用于 UF_6 转化，不能处理 $UO_2(NO_3)_2$ 返料，且其脱氟和操作技术难度较大。

（撰写：李文埃　审订：张忠岳）

yitihua liucheng

一体化流程 integral process　一种与金属元件快中子反应堆紧密衔接成一体的乏燃料干法后处理工艺过程。它是一种高温冶金过程，并包括元件的再制造。与水法核燃料后处理流程相比，一体化流程的裂变产物去污系数和铀、钚分离系数都较低。一体化流程所需设备少，体积也小，操作场所可以与反应堆紧邻；不产生液体放射性废物，固体放射性废物量也少，因而经济性好。在用初始 ^{235}U 启动后，回收的易裂变材料可以维持自身燃料循环，对于节约铀资源具有重要意义。其缺点是整个操作过程均处于强放射性环境之中，要在屏蔽热室中远距离操作；而且要解决高温下材料腐蚀和隔绝空气、水汽等问题，工程技术上难度大。一体化流程尚处于工程实验阶段。

（撰写：叶国安　审订：朱永瞻）

yiliao yongpin fushe xiaodu

医疗用品辐射消毒 radiation sterilization of medical supplies　利用电离辐射对医疗用品进行照射，以取得清除或消灭病微生物效果的一种消毒灭菌方法。较之常规的消毒方法，如热消毒或化学消毒（ETO法），辐射消毒是一种冷消毒法，有利于热敏材料医疗用品（如一次性使用的注射器）的消毒；灭菌彻底，可实现医疗用品封装消毒连续作业；无公害，既无医疗用品化学残留，又不造成大气污染；工艺简便，辐射消毒不像常规过程须对各种消毒条件（温度、压力、浓度、湿度、时间等）进行“综合控制”，而只须对照射时间进行惟一控制，便能保证过程的有效性。医疗用品辐射消毒目前正逐步取代传统的热消毒和化学消毒法，成为一种先进的灭菌消毒工艺。

（撰写：包华影　审订：吕延晓）

yiliao zhaoshe

医疗照射 medical exposure　受检者与患者因疾病诊治目的或者各种健康查体需要，在接受包含有电离辐射的医学诊断或治疗中所受到的照射。此外，在施行医疗照射时，凡知情而自愿扶持帮助受检者与患者所受到的照射，以及在开展带有电离辐射的生物医学研究中志愿者所受到的照射也属于医疗照射范畴。随着电离辐射医学应用的不断发展和日益普及，X 射线诊断学、临床核医学、放射肿瘤学以及新兴的介入放射学已成为现代医学不可缺少的重要组成部分，广大公众成员接受医疗照射的人数越来越多。据联合国原子辐射效应科学委员会报告，医疗照射是全球最大的人工电离辐射照射来源。1990 年，全世界约进行了 16 亿人次以上的 X 射线诊断检查，接受各种放射治疗的患者达 560 万人。全民电离辐射集体剂量负担中，来自医疗照射的份额比核能生产以及放射性职业照射高几个数量级。因此医疗照射防护已日益引起社会各界普遍关注。尤其是医疗照射的利益与代价权衡具有特殊性，通常容易偏向注重医疗目的而忽视防护最优化，并且各类医疗照射的剂量差别悬殊又显著不均匀，可见医疗照射防护的难度较大。医疗照射的防护必须遵循实践的正当性和防护的最优化原则，即避免一切不必要的照射，并使确

有正当理由的医疗照射，在获取必不可少的诊断信息的同时，把各种放射诊断所致受检者的剂量控制到可合理达到的尽可能低水平，而对各种放射治疗患者的靶区准确施以恰到好处的剂量。医疗照射不能像职业照射那样制定个人剂量限值。近几年在医疗照射防护体系中，新提出建立各种诊断检查的医疗照射指导水平，具体运用剂量约束概念来有效推动医疗照射的防护最优化。

（撰写：郑钧正　审订：魏履新）

yifanchang

铱反常　iridium abnormality　在白垩系—第三系界线上（6500万年前）存在铱丰度异常的现象。该现象于1980年由L.W.阿尔瓦雷兹(Alvarez)首先发现。在意大利、丹麦和新西兰深海石灰石中的铱含量比本底相应地增加约30、160和20倍，此铱含量是行星的原始量。根据此铱异常现象，阿尔瓦雷兹提出假设：在白垩系—第三系有行星撞击地球，而恐龙灭绝可能是由此所致。（撰写：罗文宗　审订：崔安智）

yibiaohua ranliao yuanjian

仪表化燃料元件　instrumented fuel element　配置了各种所需堆内测量仪表的燃料短棒试件（参见辐照过燃料元件再组装）。短棒试件最常用的测量仪表，及其安装过程，以挪威HALDEN研究中心的经验为例，简要说明如下：(1) 用于在试验过程中对试验棒内压进行在线测量的压力传感器。预先准备好一个测量仪表盒，盒内设有两个压力传感器和一个充气阀，这个仪表盒以遥控远距操作方式与试件上端焊接，使试件上端气腔与仪表盒连通。(2) 在试验棒芯柱的上端利用干冰（固化CO_2）固定燃料芯体，钻孔后插入钼管，钼管是测量中心温度所需的热电偶的导管和保护壳。安装热电偶后，在试验棒上端焊上一个特制的端塞。这个特殊端塞，通过锆(不锈钢)过渡接头与测量仪表盒连接。仪表盒内包含一个中心热电偶和(或)压力传感器以及与堆外装置的连接系统。其他国家的仪表化试验元件及组装情况大体与此类似。

（撰写：张忠岳　审订：黄玉才）

yidongchuang huanyuan qingfuhua shengchan sifuhuayou

移动床还原氢氟化生产四氟化铀　production of uranium tetrafluoride by moving bed reduction-hydrofluorination　干法制备UF_4的一种方法。移动床是一种直立的连续气固接触反应器，呈圆柱形或其他形状。在移动床中先把原料UO_3还原成UO_2然后把UO_2氢氟化生成UF_4。被加工成一定大小和形状的UO_3颗粒，从还原反应床顶部进入，形成床层。物料床层在重力作用下，自上而下缓慢移动，与从反应床底部进入、穿过床层孔隙向上流动的气体还原剂（H_2或NH_3）逆流接触，进行气固反应。固体颗粒移动至底部时，转化为达到给定质量要求的UO_2，从反应床卸出。反应的气体产物和未反应的气体从反应床顶部排出。制得的颗粒状UO_2连续地输送到氢氟化移动床顶部，无水HF气体预热后从反应床底部进入，两相在逆流接触中反应生成UF_4。移动床工艺流程的特点是：有一个专门的制粒步骤，以制备粒度适宜的固体原料；气固两相接近理想逆流接触状态，使产品转化率高，反应剂消耗降低；尾气中固体粉尘很少，尾气系统简化。移动床的缺点主要是热传递效率低，床层中心物料的反应热难以迅速传出来，故这种反应器的直径一般不大，生产强度受到限制。

（撰写：隋富志　审订：朱永嘚）

yichangdian

异常点　anomalous site　地质调查工作中在工作区内根据地球物理测量或地球化学测量结果圈定的点状或小范围空间区，其内岩石（土壤、水等）介质显示的地球物理场或地球化学场的特征明显区别于周围介质表现的特征（即背景值）。由此，可将异常点相应地称为地球物理异常点和地球化学异常点。确定异常点的异常阈值可取高于工作区（围岩）背景值（底数）3倍，也有取高于背景值与3倍测量均方差之和等方案。对不同工作区域、不同测量方法，确定异常阈的标准是不同的。实际上异常值可能高于背景值，也可能低于背景值，相应地称为正异常或负异常。异常点是找矿的重要标志。

（撰写：蒋永一　审订：胡绍康）

yiliebian cailiao

易裂变材料　fissile material　含有一种或几种易裂变核素的材料。有实用价值的易裂变核素有^{235}U、^{239}Pu和^{233}U。前者是天然铀的同位素，后两种则分别由可转换核素^{232}Th和^{238}U俘获中子后转变而成的。易裂变材料在适当的条件下可用作核反应堆的燃料、原子弹的装料和氢弹的引爆材料。

（撰写：李文埮　审订：张忠岳）

yiliebian hesu

易裂变核素　fissile nuclide　在慢中子作用下具有显著的裂变截面的核素。重要的易裂变核素有^{233}U、^{235}U、^{239}Pu。奇质量数的重核如^{235}U和^{239}Pu吸收一个慢中子后生成的复合核^{236}U和^{240}Pu分别具有激发能6.54 MeV和6.53 MeV，均超出这两个复合核的裂变势垒（5.9 MeV），可立刻发生裂变，因而它们是易裂变核素。而^{238}U吸收一个慢中子生成复合核^{239}U的激发能约为4.80 MeV，它低于这个复合核的裂变势垒（6.2 MeV），因此^{238}U不是易裂变核素。

（撰写：韩洪银　审订：张焕乔）

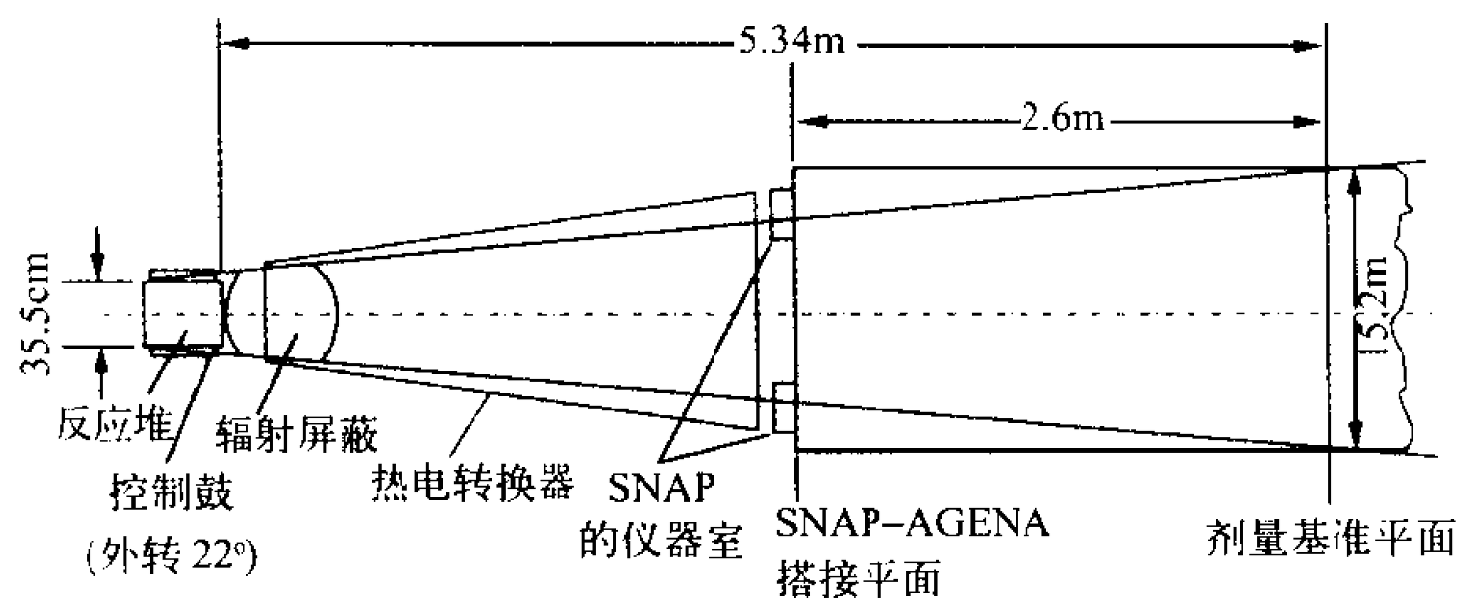
yiliu

溢流　flooding　在液体向下、蒸汽向上的逆流冷却流道中，蒸汽上升速度大到阻碍液体向下流动的现象。在反应堆发生某些事故时可能会发生溢流，此时燃料元件得不到应有的冷却，因而在分析中必须予以考虑。

（撰写：于湖源　审订：马昌文）

yinying pingbi

阴影屏蔽　shadow shield　阴影屏蔽是以这样的方式布置屏蔽体，此时辐射源不被包围，但它的辐射在某些重要方位上不能自由穿越。换句话说，是使被保护的人员或设备处在屏蔽体所造成的阴影之中。这是一种最为节省屏蔽体体积和重量的方式，但是实用中必须注意到周围屏障物甚至是空气对射线的反散射贡献。随着反射几何条件的不同和辐射特性的不同，这些散射贡献的份额也不相同。由于反散射计算的不确定度要比屏蔽体中射线减弱计算的不确定度大得多，一般认为，阴影屏蔽最终的屏蔽效果将由反散射的贡献所限定。阴影屏蔽突出地应用于空间飞行器上。美国空间核辅助动力系统SNAP-10A的初步计算中曾低估了热电转换器—散热器对中子的散射贡献，实测表明，它比穿透阴影屏蔽的堆芯中子辐射要高得多（见图）。经重新估算修正后，中心线处的快中子通量值提高了4倍。

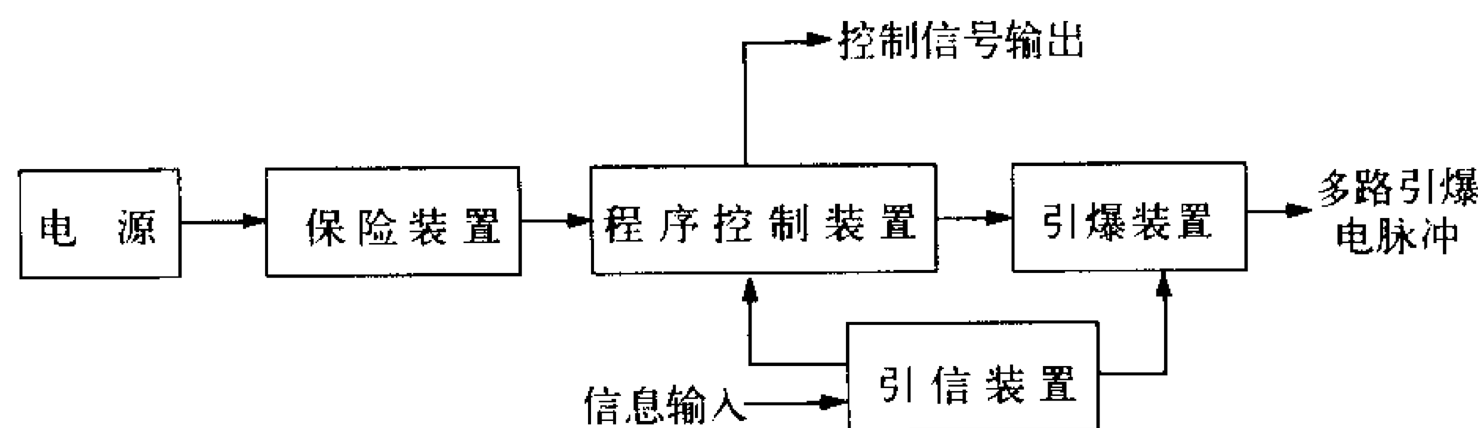


SNAP-10A的辐射屏蔽几何条件示意图

（撰写：华 旦 审订：吴德强）

yinbao kongzhi xitong

引爆控制系统 arming, fuzing and firing system (AF&F system) 战斗部中用于按预定程序解除保险并引爆装药的系统简称引控系统。通常包括电源、保险装置、引信装置和引爆装置四个部分。在常规武器中常将该功能系统称为引信，而把其中的引信装置称为信息敏感装置；但在核武器中不这样称谓，只可简称引控系统，其组成如图所示。



引爆控制系统框图

这里增加了一个程序控制装置，其中包括爆高爆时远调和适时发出预定的各种程序控制信号设施两大部分。除控制引控系统本身工作程序外，还按需发出对弹上其他系统的控制信号。电源通常是采用比能量高、工作性能稳定可靠的电化学能源，如银锌电池、锂电池、热电池等。为了提高核武器安全性，电池平时不荷电，只有临使用前甚至投射出武器以后才临时快速将电池激活。为了提高可靠性，引控系统中有些部件或装置可以酌情采用复式（冗余）设计。引控系统可以分散布放在弹内而以接插件通过专用电缆互联，也可一体化布局以收缩减体积之效，但后者对部件或装置的可靠性要求较高。（撰写：俞大光 审订：王铁铮）

yinkong xitong lianshi

引控系统联试 integrated test of AF&F system 检查引爆控制系统功能、性能参数和各装置间及与相关系统间匹配情况的试验。在引控系统研制过程中、外场试验时、定型鉴定时和生产交付时、以及服役期间定期检测和投入战斗前都需要进行这种试验。为此需配备一套联试设备于各有关场所以利于联式进行。联试设备除应能对引控系统进行控制和检测外，还应能对引控系统在飞行中的特殊环境进行模拟仿真。例如对装有气压引信的引控系统应配置气压模拟装置，对采用雷达引信的引控系统应配备雷达回波模拟装置等。

（撰写：俞大光 审订：王铁铮）

yinbi

隐蔽 sheltering 紧急和应急防护行动之一，系指使用建筑物（或构筑物）来减弱气载放射性烟羽和（或）沉积的放射性物质的照射。隐蔽是事故期间一种简单可行的、有效防护措施——人员停留在（或进入）屋内，关闭门窗及通风系统。如果确认放射性烟羽已经过去，则应开窗和打开通风系统，用稀释已进入屋内的放射性核素浓度的办法来减少剂量。隐蔽的防护有效性与可用的建筑物类型及相对于事故现场的位置有关；砖建筑物或大型商业构筑物，可以将外照射剂量降低一个数量级或更多。不推荐长于两天时间的隐蔽。短期的和局部的隐蔽的代价很小。放射性烟羽过后较长时间内隐蔽仍可继续，以避免地面沉积的放射性物质产生的外照射剂量。但较长时间的隐蔽会干扰正常的生活，并可能引起居民的焦虑。

（撰写：施仲齐 审订：陈竹舟）

Yindu heshiyanchang

印度核试验场 nuclear test site of India 印度进行核试验的场地。印度核试验场位于印度西部，邻近巴基斯坦的拉加斯坦沙漠地区。1974年曾经在这个场地进行过一次印度政府称之为和平利用目的的核试验。1998年5月11日和13日印度在这个场地进行了两次核试验，印度政府宣布一共爆炸了5枚核装置。印度的核试验采取了竖井方式地下核爆炸，对于井深等有关核爆炸的参数，印度政府拒绝透露。该核试验场地貌为戈壁滩，爆心附近不远处有小村落 。

（撰写：吕 敏 审订：周佩珍）

Yingguo heshiyanchang

英国核试验场 nuclear test site of England 英国进行核试验的场地。英国早期的大气层核试验在澳大利亚西北的蒙特贝洛岛以及西部马拉林加等试验场进行，以后大气层核试验转移到圣诞岛进行。英国特别关心海军基地遭到核袭击产生的后果。它进行的第一次核试验就选择了水面核爆炸，核装置放在PLYM号护卫舰中，在海平面以下约3 m的船舱中进行核爆炸，爆炸后该舰消失。1958年以后英、美达成协议，由英国制造核装置，双方联合在内华达进行核试验，数据双方共享。此后英国再没有进行过独立的核试验，并将圣诞岛租借给美国作为核试验场。英美联合核试验总共进行了24次。

（撰写：吕 敏 审订：周佩珍）

Yingguo hewuqi

英国核武器 UK nuclear weapons 英国研制、生产和部署的核武器。英国是世界上第三个拥有核武器的国家，自1952年10月首次原子弹试验成功以来，共进行了45次核试验。英国核武器的研究与发展工作同美国密切配合，有自己设计和制造的核弹，也有仿制美国的核弹。核弹库存量在20世纪70年代中期达到最大（350个），到2000年尚有185个。英国现装备的核武器系统包括48枚“三叉戟”Ⅱ D-5潜射弹道核导弹及携带这种导弹的3艘新型“前卫”级弹道导弹核潜艇，有192个核弹头。到2001年，英国将拥有4艘“前卫”级弹道导弹核潜艇，皇家空军装备的WE 177核炸弹已经全部退役。英国的“三叉戟”Ⅱ D-5潜射弹道导弹是从美国购买的（1982年3月11日英国决定从美国购买这种导弹），每枚“三叉戟”Ⅱ D-5潜射弹道导弹可携带8个分导式核弹头。英国装备这种导弹的核弹头是由它自己研制和生产的，其性能类似于美国的W-76核弹头，但威力与美国的W-76核弹头不同。英国的“三叉戟”Ⅱ D-5潜射弹道导弹可能携带3个分导式核弹头，每一个核弹头的威力为100 ktTNT。

（撰写：王连奎 审订：竺家亨）

Yingjiang youkuang

盈江铀矿 Yingjiangite 含水的钾钙铀酰磷酸盐，化学式为 $(K_{1-x}, Ca_x)(UO_2)_3(PO_4)_2(OH)_{1+x} \cdot 4H_2O$（式中 x=0.35），该矿发现于云南省盈江县。斜方晶系，晶体呈针状；集合体呈束状、致密块状。颜色为深黄色或带褐的黄色，强玻璃光泽（见图）。解理沿 {001} 完全，沿 {100} 中等。硬度2～3，相对密度4.15～4.54。在紫外光照射下发弱的绿黄色荧光。二轴晶负光性。折光率：N_g=1.707～1.710, N_m=1.692～1.703, N_p=1.666～1.669。光轴角 $2V$=36°～38°。强度散 $r > v$。盈江铀矿产于内生铀矿床氧化带，与钙铀云母、腾冲铀矿、铜铀云母等共生。


盈江铀矿晶体集合体

（撰写：赵凤民　审订：胡绍康）

yingyun danwei baogao zhidu

营运单位报告制度 reporting system of operating organization 核设施营运单位按国家核安全监管部门的要求在核设施建造，调试和运行阶段提供有关资料。营运单位执行核设施营运单位报告制度其内容包括：(1) 定期报告；(2) 重要活动通知；(3) 建造阶段事件报告；(4) 运行阶段报告；(5) 核事故报告。

（撰写：王秀清　审订：俞尔俊）

yingji baojing

应急报警 emergency alert 最低的应急等级，对应涉及保护公众或场内人员的安全水平有某种未知的或明显下降的事件，预计的放射性物质释放造成的场内剂量或场外剂量，仅仅限于应急防护行动干预水平的小份额。在这个应急等级下，场内应急组织应当通知场外有关应急机构，启动场内部分适宜的响应，如果需要的话则进行核设施周围的场外监测，采取措施减缓事故。在报警等级下，应提高场外、场内应急响应组织的准备状态和对事件作出进一步的评价。

（撰写：施仲齐　审订：陈竹舟）

yingji chaiyou fadianjizu

应急柴油发电机组 emergency diesel generator set 核电厂失去正常电源后向厂内安全重要设备供给电能的应急电源。它是保证核电厂安全非常重要的设备。考虑到核电厂失去正常电源后，同时又发生了安全停堆地震和设计基准事故，必须用它及时向电厂的安全母线连续供电，以保证电厂的安全系统及其支持系统正常运行。应急供电系统一般设 2～4 个相同的独立系列，每个系列的母线上接一台应急柴油发电机组，以保证多重性的设计准则。电厂失去正常电源后，应急柴油发电机组必须在 10～12 s 内自动启动和并网。安全母线上的负载应先自动切除，然后按规定的次序和时间间隔分步启动有关设备，以保证反应堆的安全。因此应急柴油发电机组必须有快速启动和优良的加载、卸载性能，并应保证在整个寿期内发生安全停堆地震后都能运行。

（撰写：杜圣华　审订：张维忠）

yingji chengxu

应急程序 emergency procedure 又称执行程序、实施程序。应急程序是在应急响应期间响应人员采取详细行动的一系列文件。应急响应计划是制定应急程序的总体指南和基础。我国通常是按照应急计划确定的分工和对各专业组响应行动的要求，分别制定各自专业组的详细执行程序，以便于应急响应人员的实际操作。要求对所有的关键响应任务都要制定程序，这些程序应当提供有关详细的指令和所需要的信息。在编制执行程序中，特别要注意协调不同的专业（小组）之间的关系；对所有的程序应使用标准的格式。任务、岗位和实施步骤都要十分明确，执行中如何报告和批准步骤都应非常清楚，而且要做到文件记录。对应急计划和程序应定期进行审评和按照新的情况及时地修订。

（撰写：王法　审订：施仲齐）

yingji duixin lengque xitong

应急堆芯冷却系统 emergency core cooling system (ECCS) 见安全注射系统。（撰写：戚正文　审订：张维忠）

yingji fanghu xingdong cuoshi

应急防护行动（措施） emergency protective action(measure) 应急状态下为防止或减少公众成员所接受的辐射照射而实施的干预行动（措施）。可以选择的主要防护行动有：隐蔽、撤离、碘预防、出入通道控制、个人防护、人员去污、医学处理、临时性避迁、永久性再定居、食物和饮水控制、使用贮存饲料、区域去污及其他农业对策等。任何防护行动的实施，在降低辐射照射的危害的同时，也会带来新的危害，包括健康危害和社会危害。因此，防护行动的决策必须是十分慎重的。除非预期剂量可能超过发生严重确定性健康效应的阈值，否则，任何防护行动的实施都必须作正当性的判断和最优化的分析。只要是低于干预水平或行动水平，通常不太可能需要采取防护行动。（撰写：陈竹舟　审订：施仲齐）

yingji fushe jiance

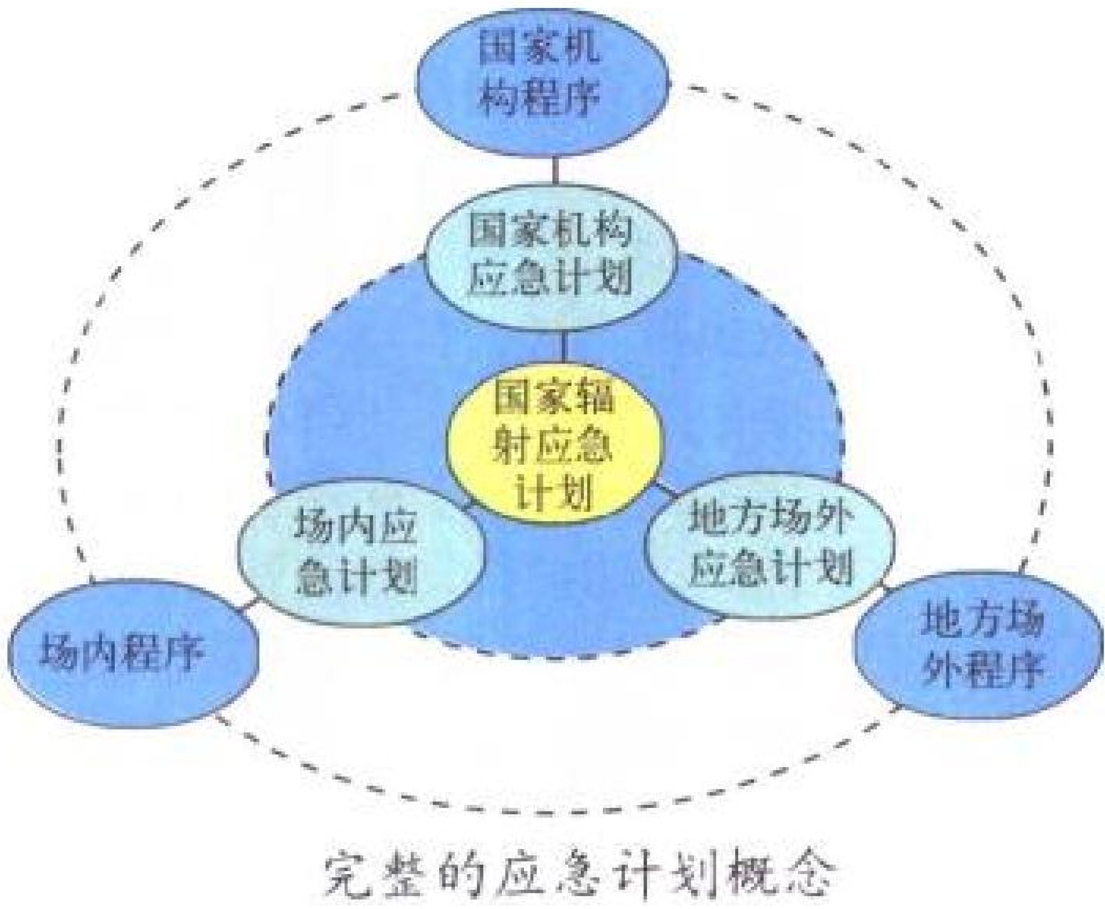
应急辐射监测 emergency radiation monitoring 在应急情况下为发现和查明放射性污染和辐射水平的大小和范围而进行的辐射监测。应急辐射监测的基本目的在于尽可能快速和多方面的提供关于事件或事故对设施、环境以及人员所造成的污染或照射情况的测量数据，以便为后果评价和防护行动决策提供技术依据。对应急监测的具体要求，随核设施的类别、规模、场址特征以及当时的事故和环境状况（包括事故的进程阶段）的不同而异。它们的启动和实施一般以事先制定好的相关应急计划执行程序为依据。按监测对象的不同，应急监测可分为应急环境监测、应急工作场所监测以及应急个人监测。应急环境监测的任务在于尽快获得关于放射性释放物的种类和数量，以及它们在周围环境中的分布状况和走向，以便为环境后果评价和公众防护行动决策提供技术依据。对于可能产生环境后果的事故来讲，应急环境监测是特别重要的。应急工作场所监测的任务在于获得场址和设施内部的辐射和污染水平方面的测量数据，以便为事故抢救行动和场内防护行动决策提供技术依据。应急个人监测的任务重点在于为执行应急任务的工作人员提供个人监测，以使他们的应急照射得到相应的控制，除此以外，对部分其他人员的体表和体内污染进行监测也是需要的。从技术和设备方面来讲，相当大一部分应急监测工作可以与常规监测工作相兼容。但是

由于应急监测往往是在相当紧迫的情况下进行，待测的水平可能异常的高，待测的内容和范围也可能有明显的差别，因此相对常规监测而言，它们还必须满足一些特殊的要求。主要包括监测仪的响应速度和监测工作的进展速度要快、测量量程要足够宽、测量内容要考虑到事故时的要求、监测布点和频度要作必要调整、设备的使用条件可能有变化、必须要考虑到对监测人员的防护要求等。为此，一些特别适用于应急目的的监测技术和系统得到越来越广泛的应用。

（撰写：夏益华　审订：胡遵素）

yingji jihua

应急计划　emergency plan　又称应急响应计划。针对应急响应行动所制定的一份文件，描述应急响应时的组织结构，各实施单位的响应功能和责任，各个不同的响应功能组织（专业组）之间相互协作的运行机制、运作的方案、防护行动、干预的原则等。对应急响应所需的设施、设备和防护器材等也需简要地加以描述。文件还必须说明和本应急组织之外的相关应急组织之间的协调和相互支持的关系。应急计划还必须有专门的应急执行程序来加以支持。国际原子能机构（IAEA）的技术文件提出的完整的应急计划概念，如图所示。



完整的应急计划概念

应急计划应经过该应急组织负责人批准，并报有关部门审批。应急计划要通过“演习”等经验反馈，依据有关法规标准的改变，核设施内部及周围环境的改变以及技术的发展等进行修正。

（撰写：王法　审订：施仲齐）

yingji jihua leixing

应急计划类型　emergency planning category　按危害的大小和时间特性将应急响应计划的实践及活动分成的不同组。每一类型在危害大小和时间特性方面具有共同的特征。五种应急计划类型见表。

应急计划类型

类型	所适用的类型说明
I	有可能发生在场外导致严重的确定性健康效应的大量释放的设施。另外，对该设施的事故作出响应而做好快速防护行动准备的该设施附近的区域，也要求在这一水平上制定计划
II	有可能发生在场外导致超过紧急防护行动通用干预水平的照射剂量的释放，但很少或不会在场外产生确定性健康效应的设施。另外，对该设施的事故响应做好防护行动准备的区域，也要求在这一水平上制定计划
III	没有明显场外风险但有可能发生在场内导致确定性健康效应事故的设施。负责向这些设施提供消防，治安或医学支持的地方管辖当局也要求在这一水平上制定计划
IV	没有或具有未知威胁的区域。由于涉及丢失源或被盗源或放射性物质运输的事故在任何地方都是可能的，对所有的国家来说这是最低的要求
V	在国外设施发生事故的情况下，很可能有必要实施有关食物干预的区域

需要指出，使用这些计划类型只是为提供制定计划的指南而采用的一种简便方法，在事故期间不使用这些计划类型。

（撰写：王法　审订：施仲齐）

yingji jihua qu

应急计划区　emergency planning zone　为在核事故时能及时、有效地采取保护公众的防护行动，事先在某些核设施（主要是核电厂）周围建立的、制定有应急计划并做好应急准备的区域。目前，包括我国在内的多数国家在核电厂周围建立两类应急计划区：烟羽应急计划区和食入应急计划区。近些年，国际原子能机构（IAEA）在其出版的若干技术文件中提出了新的应急计划区分类方法，将应急计划区划分为三类：预防性行动区、紧急防护行动计划区和长期防护行动计划区。应急计划区是粗略地围绕核设施的圆形区域，它的大小可通过分析核设施的潜在后果并综合考虑政治、经济及社会等因素加以确定。在真实事故状态下，实施应急防护行动的区域通常可能是应急计划区的一部分，而在罕见的严重事故下，也可能需要在应急计划区外实施某些防护行动。

（撰写：陈竹舟　审订：施仲齐）

yingji lianxi

应急练习　emergency drill　为保持应急响应的能力，对某种具体操作技能或者对应急响应的某项实施程序的运作而进行的有组织的训练，通常也称作单项演习。练习可单独进行，也可以与综合演习结合起来进行。练习的内容主要包括：(1)通信；(2)辐射监测；(3)应急响应人员的辐射防护；(4)辐射剂量估算；(5)公众防护措施建议；(6)医学救护；(7)治安保卫与交通管制；(8)公众防护措施的实施。在我国，通信练习主要涉及国家、地方和核设施营运单位三级应急体系中各级应急响应组织之间的通信程序。辐射监测练习包括：(1)环境外照射水平巡测；(2)对所有有关环境介质样品（如水、农作物、土壤和空气）的收集、分析和记录（可结合常规监测进行）；(3)对模拟较高放射性浓度的气载物和液体样品的评价和分析；(4)监测结果的报告。辐射防护练习主要包括有关防护器具的使用和防护措施的实施等。辐射剂量估算练习的主要内容包括通信联络、有关环境数据的获取和处理以及剂量的估算。公众防护措施建议练习的主要内容包括根据有关辐射监测数据和剂量估算的结果，向有关应急决策部门就公众所应采取的应急防护措施及其实施时间和范围提出建议。医学救护练习主要包括对受过量照射人员、受污染人员和受到一般性伤害的人员的处理和救护进行模拟训练，以及“自救互救”能力的训练。治安保卫与交通管制练习的主要内容包括有关区域社会秩序的维护以及进出有关区域的通道的控制等。公众防护措施的实施练习的主要内容包括有关公众防护措施（服用稳定碘片、隐蔽和撤离等）的实施程序，例如稳定碘片的分发和服用、人员的集合和交通运输以及人员在临时安置地的安置等。

（撰写：曲静原　审订：施仲齐）

yingji peixun

应急培训　emergency training　对应急管理人员或专业人员进行的、旨在掌握有关应急知识及技能的教学训练。在进行应急培训之前，首先要按照有关条例的规定和应急计划的要求制定培训大纲。培训大纲要明确规定培训对象、培训要求、培训计划、培训内容、培训方式、培训教员、培训频度以及

培训记录等项目。在应急响应工作中可能承担任务的所有人员都要接受相应的培训，其中主要包括应急指挥人员、应急协调人员、通信人员、事故评价人员、辐射监测人员、医学救护人员、后勤保障人员、与传媒系统的联络人员、消防人员以及其他场外支持人员等。应根据培训大纲的要求，制定相应的培训计划。在培训计划中要提出明确的培训目的、培训的内容、指导性的培训材料以及培训效果的检查方法。培训内容分为共同性内容和专业性内容两大类。所有参加应急培训的人员都应学习或了解共同性的培训内容，主要包括：(1) 核电厂与核事故的特征和特点；(2) 应急对策和防护措施；(3) 事故后果评价方法；(4) 应急干预原则与干预水平；(5) 应急计划区的概念和划分；(6) 国家应急体系与各级应急组织机构的职责；(7) 国家有关应急工作的方针政策和法规规定等；(8) 有关应急响应方面的重大事件的通报及其范例经验和教训。专业性培训主要涉及各应急专业组织完成特定的任务所需要的基本知识和技能、应急执行程序、有关应急响应人员的职责以及有关应急设备器材的使用等。应急培训可采用课堂讲授和实习两种方式进行。课堂讲授的应急培训内容包括共同性内容和部分有关专业性内容。为此应当配备必要的培训教具，例如各种宣教资料、参考材料目录、演示设备，以及有关应急响应任务的视听材料等。实习的目的是熟练掌握有关应急设施设备操作和应急程序执行的技能和技巧。培训教员应是相应培训内容领域内的专家或具有丰富实践经验的人员。培训前要对拟聘任的教员进行资格审查。对场外所有应急响应人员要进行与其所承担的应急任务相适宜的首次培训，并根据培训大纲的要求定期进行再培训。在考核、测验和实习等方式的基础上，可以书面形式对受训人员的培训效果进行考评。考评的内容包括受训人员在培训过程中，对培训内容的正确理解程度、执行应急指令的技能和技巧以及课堂培训和实习的结果等。 (撰写：曲静原 审订：施仲齐)

yingji xiangying

应急响应 emergency response 为控制和减轻核或辐射意外事件或事故所造成的放射学后果而采取的不同于正常行动的应急行动。核和辐射应急响应的总目标是：保护公众、保护环境。其安全目标是：用建立和保持有效的对辐射源产生的辐射危害的防御以保护人员、社会和环境免受危害。其防护目标是：用保持受照剂量低于相对阈值来预防人员发生确定性健康效应，并采取合理的措施以降低公众中现在的和将来的随机性效应的发生率。其实施目标是：(1) 从源头上降低事故风险或减轻事故后果。(2) 预防和降低人员确定性健康效应的发生率。(3) 对受伤者提供抢救和处置。(4) 降低公众中随机性健康效应的发生率。(5) 减少人员和公众中非辐射健康效应的发生率。(6) 保护环境和财产。应急响应要做到：及时、适度和协调。应急响应中要特别强调“统一指挥，大力协同”的方针。应急响应要尽快地降低放射性物质的释放或传播、立即保护可能受到照射的人员，并能及时地，确切地和一致地向可能受到影响的公众提供信息。

(撰写：王 法 审订：施仲齐)

yingji xiangying nengli de baochi

应急响应能力的保持 maintenance of emergency response capacity 使应急响应能力处于随时可有效投入状态而进行的活动，主要包括应急培训、应急演习、应急计划与执行程序的评审与修改、应急资源的清点检查与更新以及国家核应急主管部门对核应急响应能力保持情况的监察和检查工作。要根据国家有关应急管理规定的变化、核电厂及核电厂周围环境的变化、应急组织的变化、在应急演习中所发现的问题以及有关技术的发展等，对应急计划和执行程序的相关部分进行及时的修改和补充。要定期对应急设施与设备进行维护，对应急物资器材进行清点和检查。对通信设备要经常进行检查。对辐射监测仪器的功能要定期进行检查和标定，尤其要检查监测仪器的量程范围是否满足应急响应的要求。另外、应急组织要定期对本应急组织中应急人员、与其他应急组织的联系人，以及上级主管部门的联系人的姓名、职称、职责和电话号码，进行检查和更新。

(撰写：曲静原 审订：施仲齐)

yingji xiangying sheshi

应急响应设施 emergency response facility 简称应急设施。进行应急响应时所用的主要设施，包括事故控制中心和备用控制中心、技术支持中心、应急控制或指挥中心、应急通信设施、事故后果预测和评价设施、应急监测设施、应急医学救援设施、应急交通控制设施、应急去污洗消设施、应急气象观测设施、应急新闻与信息中心、应急后勤保障设施等。核设施主控制室是场内应急设施之一。专门用于某种应急工作的设施称为专用应急设施；和日常工作或其他应急工作合用的设施称做兼容应急设施。由于核应急响应是针对发生概率很低的突发性事故的，从经济、运行、维护和使用效率上考虑，不可能针对一种应急情况建立全部专用应急设施。因此，一般只有少量日常工作或其他应急工作无法使用的应急设施才是专用应急设施，大量的是兼容的应急设施。上面所提到的设施中大部分是兼容的应急设施。不论是专用的，还是兼容的应急设施，都要认真落实、妥善维护和采取适当措施保证其在应急响应时能投入启用；所有的应急设施都应通过演习来检验其在应急响应期间的适用性和可靠性。

(撰写：钱汉文 审订：施仲齐)

yingji xingdong shuiping

应急行动水平 emergency action level (EAL) 预先确定的、厂址特定的可观测的阈值，在此阈值下核设施和场外应急组织处于一定的应急等级下。应急行动水平可以是：仪表读数、设备状态或其他可观测的事件（如火灾）。可以基于下列几种不同类型的状况制定核电厂的应急行动水平：核电厂重要安全功能的丧失，包容裂变产物的屏障丧失，辐射水平（高的放射性排放率，主控制室内的辐射水平升高，安全壳辐射水平升高，场外高的环境剂量率等），保安、火灾、自然事件和其他事件，反应堆冷停堆条件下换料系统损坏，与乏燃料贮存装置有关的事件等。在核电厂营运单位的场内应急计划中，制定适用于本核电厂和厂址的应急行动水平，对提高核电厂应急响应能力有十分重要的意义。

(撰写：施仲齐 审订：陈竹舟)

yingji yanxi

应急演习 emergency exercise 为检验应急计划的有效性、应急准备的完善性、应急响应能力的适应性和应急人员的协同性所进行的一种模拟应急响应的实践活动。根据其涉及的内容和范围的不同，可以分为练习（单项演习）、综合演习和联合演习。对应急演习作出适宜的计划，保证在一定的时间间隔内对有关应急组织机构的主要组成部分和应急计划中的

基本功能，都能进行必要的检查。根据演习的目的和预期目标，需要在演习情景的设计中，对演习的性质、规模、参演单位和人员、源项及事件序列、响应程序、评价方法与标准以及演习的持续时间等作出总体设计。在演习之前，应当由演习的组织领导者或其代表召开所有参加演习单位的代表、担负演习导调和评估任务的工作人员参加的会议，向他们介绍有关演习的计划安排；保证不把演习误认为是真实事故所采取的措施；如果在演习期间发生了真正的事故时将要采取的应急响应行动；导调和评估人员名单；以及其他有关安排和注意事项等。在演习的过程中，应指派导调员对演习的进行过程和效果进行导调。应在演习计划中对导调员的工作位置和任务作出明确的规定。为了能够对演习的进行过程和效果进行评估，应指派必要数量的评估员，并在演习计划中对评估员的工作位置和任务作出明确的规定。评估员的基本任务是根据演习情景和演习计划与程序，对演习进程与参加演习的组织和人员在演习期间完成其应急响应任务的情况进行观察评估。在演习结束之后，演习组织者、导调员和评估员以及主要演习人员一起参加演习的讲评。讲评之后，参与演习的应急组织要向演习评估的负责人提交一份全面的演习总结报告；演习评估的负责人应在演习讲评之后完成最终的演习评估报告。

（撰写：钱汉文　曲静原　审订：施仲齐）

yingji zhihui zhongxin

应急指挥中心　emergency control center　在应急响应期间对应急工作进行决策、指挥、协调和控制的应急设施，有时也称作应急控制中心。它是领导人员和专家在应急响应时的主要活动场所。因此，在该中心应当配置信息传送和显示系统、通信指挥系统、决策辅助系统（例如事故后果预测评价、气象观测、优化决策等），还应有必要的资料和文字处理及录扩音设施、专家活动场地、少量的休息场地及必要的后勤保障、供电保障等设施。中心内的各种设施和系统必须高度可靠，有的则应留有必要的备份。场内应急指挥中心的位置一般在需要应急响应的核设施附近。核电厂所在省（自治区、直辖市）场外应急指挥中心通常位于省（自治区、直辖市）人民政府所在地，也可设在核电厂所在地区（市、县）。如果场外应急指挥中心远离出事核设施，则在场外应急状态时，可根据需要在邻近核设施厂址，但又不受核事故影响的安全地点临时设置前沿（或现场）指挥所，来行使该中心的现场指挥功能。

（撰写：钱汉文　审订：施仲齐）

yingji zhuangtai chushi tiaojian

应急状态初始条件　initiating condition of emergency class　简称初始条件（IC）。一套预先确定的核设施状态，在这种状态下可能存在辐射应急状态或这种应急状态已经出现。初始条件可能是超出技术规格书的连续、可测量的功能，如反应堆冷却剂系统温度升高或反应堆冷却剂水位下降（一种事故征兆）；它也包括发生诸如火灾（一个事件）或反应堆冷却剂管道破裂（一个事件或包容放射性物质的一种反应堆屏障破裂）。

（撰写：施仲齐　审订：陈竹舟）

yingji zhuangtai fenji

应急状态分级　emergency classification　对应急状态按其放射学后果的相对严重性和对这些状态实施响应所必要的场内、外应急响应行动进行分级。国际原子能机构建议分成三种可能的应急等级：总体应急，场区应急，报警。使用应急等级是为了对应急状态进行迅速和协调的响应。对每种应急等级要采取的响应行动在事先要进行协调，并根据宣布的应急等级实施这些行动。在应急计划中应对每一种应急状态规定所应采取的防护行动。在20世纪80年代，国际原子能机构和很多国家（包括中国）将应急状态分成四级：场外应急（或总体应急）、场区应急、厂房应急（或报警）和应急待命。不能将应急状态的分级与国际核事件分级表（INES）相混淆。INES的目的是：在对事件作出判断以后，用INES表示这个事件的严重程度，以便使公众、新闻媒体和核技术界之间达到共同理解，而不是应急响应的依据。

（撰写：施仲齐　审订：陈竹舟）

yingji zhunbei

应急准备　emergency preparedness　针对核或辐射应急状态的响应而进行的准备工作，其目标是在核或辐射应急时，营运者（用户）、地区和国家各个层次上都能及时地、适度地和协调地保持高效的响应能力，以最大限度地控制和减少意外事件（事故）所造成的损害。应急准备包括：建立应急组织，编制应急计划及实施程序，准备必要的应急设施、设备，以及进行人员的培训，演习等。国际原子能机构（IAEA）将对应急准备的要求，分成为基础结构要素和功能要素两大类：基础结构要素为：授权组织的责任、响应的协调、计划和程序、后勤支援；培训、练习和演习。功能要素为：应急响应的分级、通报和启动、事故管理、紧急防护行动、公众教育和指导，应急工作人员的防护、应急评价、应急响应的管理，公众信息，农业措施和长期防护行动、非辐射后果的防止和从应急管理到正常安排的转换。按照应急准备的目标，考虑各种“要素”的要求，指定的应急组织安排应急准备工作，进行软硬件建设。应急准备要特别强调“积极兼容”的方针，即，要充分利用现有的人力和物力，努力提高核或辐射应急准备资金和物资的使用效益，并使核或辐射应急准备工作与地方和核电厂的发展规划相结合。应急准备工作是涉及到多个部门的工作，因此必须强调“协调”。

（撰写：王　法　审订：施仲齐）

yingji zuzhi

应急组织　emergency organization　参与应急响应并在其中承担某一方面任务和责任的组织。国际上通常将涉及核或辐射事故的应急组织分成三级：（1）用户—设施。设施的工作人员或者在事故时使用所涉及的物质的人员，负有为缓解事故采取立即的行动、保护场内工作人员和通知场外当局并向他们提供有关防护行动的建议或技术支持。对于运输事故，还包括发货人、源的所有者和承运人。（2）场外应急组织。包括地方组织、国家和地区（省或州）当局。（3）国际组织。包括国际原子能机构、世界卫生组织等。针对核电厂的事故，我国应急组织实行三级管理体制，即国家级应急组织、省（自治区、直辖市）级应急组织和核电厂级应急组织，分别负责全国、省（自治区、直辖市）、核电厂营运单位的核应急管理。国务院成立的“国家核事故应急协调委员会”统一组织、协调国务院有关部门、地方政府、核电厂和军队的核应急管理工作，组织制定和实施国家核应急计划；国家核事故应急协调委员会由成员单位的领导组成。建有核电厂的浙江省、广东省成立了省级核应急委员会，负责本省核电厂的场外应急准备和统一指挥场外应急响应行动。核电厂营运单位的应

急组织是该厂的应急指挥部以及包括技术支持、辐射防护、行政后勤、控制室和运行支持等应急组织，负责核电厂场内应急准备和在应急期间采取措施控制事故、实施场内应急响应行动，并通知场外应急组织和提出对公众采取防护措施的建议。 （撰写：王 法 审订：施仲齐）

yingli fushi kailie

应力腐蚀开裂 stress corrosion cracking (SCC) 某些材料在拉应力和特定腐蚀介质共同作用下引起的破裂。其主要特征：材料应力腐蚀对腐蚀介质有选择性；当拉应力达到或超过临界应力值时，才发生应力腐蚀开裂；应力腐蚀开裂属于脆性断裂，裂纹主要有晶间型、穿晶型两种。但两种形式也能在同一种材料上发生，这取决于环境条件。核工业大量使用的，诸如堆内构件、管道、热交换器、蒸汽发生器管束等不锈钢部件，由于受介质中氯离子和拉应力的作用，经常发生应力腐蚀开裂。锆合金燃料包壳也可能发生应力腐蚀开裂。采用热处理方法消除应力，采用喷丸等工艺在材料表面形成压应力；控制环境、降低有害离子（Cl^-）浓度等都是防止结构件发生应力腐蚀开裂的有效措施。

（撰写：王树人 审订：李文琰）

yongjiuxing zaidingju

永久性再定居 permanent resettlement 长期防护行动之一，系指人们从受放射性污染的地区迁出，而这种迁出无法预计能在可预见的将来返回原地区。一般说，他们在新居民点的膳宿条件将和原地区相当。在进行永久性再定居的决策时，要考虑的因素包括所需资源的估计，可防止剂量，对个人和社会造成的混乱，以及与减少人们焦虑，使人们放心有关的心理、社会和政治因素。永久性再定居所需要的资源包括人群及其财产的运输，新的住房及其基础设施，以及新的基础设施建成之前收入的暂时损失。这些资源基本上是一次性的开支，而不是持续性的。

（撰写：施仲齐 审订：陈竹舟）

yongyu gaofangshexing hefeiwuchuli de jubiandui

用于高放射性核废物处理的聚变堆 fusion reactor for high radioactive waste-treatment 又称聚变嬗变堆。利用高能聚变中子轰击长寿命放射性核废物的装置。核电站中的长寿命放射性核废物主要来自锕系元素，这些核素在高能量、窄能谱聚变中子的轰击下，有较大的裂变截面和俘获截面，裂变反应“烧毁”锕系元素，俘获反应使长寿命放射性核素转化为稳定的或短寿命放射性核素。设计成富中子贫能量的聚变反应堆是一个高效率的核废物“焚烧炉”。近年的研究表明，中子壁负载在 0.6～1.0 MW/m^2 下就可以有效地嬗变锕系核素，年焚毁量可达吨级，同时输出廉价电能。由于有硬的中子能谱、富裕的中子产额、不会发生超临界事故等优点。

（撰写：冯开明 审订：钱尚介）

you

铀 uranium III_b 族锕系放射性元素，符号U，原子序数92，相对原子质量 238.03。天然铀含 ^{234}U、^{235}U 和 ^{238}U 三种同位素，其质量分数分别为 0.006 %、0.720 % 和 99.274 %。^{233}U 是人工铀同位素，由 ^{232}Th 俘获中子后，经两级 β 衰变所生成。铀在熔点（1405 K）以下有三种相结构：α 相（低于 941 K）为斜方晶格，室温密度为 19.05 g/cm^3；β 相（941～1048 K）为复杂四方晶格；γ 相（1048 K～熔点）为体心立方晶格。铀的沸点为 4091 K。α–U，β–U 以及由低温加工的多晶铀（晶粒有择优取向）都存在各向异性，其物理、机械和辐照性质都与晶体结构的方向有关。

铀的化学性质活泼。铀的新切面呈银白色，在空气中氧化后失去光泽，形成黑色的致密氧化膜，被水或水蒸气腐蚀生成氧化物和氢化物层。粉末状铀极易自燃。铀原子的电子构型为（Rn）$5f^3 6d^1 7s^2$，有 +3，+4，+5，+6 四种氧化态，以 +6 态最稳定。铀与多种元素形成铀化合物。在酸性溶液中，六价铀以铀酰离子 UO_2^{2+} 存在。^{235}U 和 ^{233}U 吸收中子后产生裂变，在反应堆内可实现自持链式反应，同时释放出巨大能量。^{238}U 俘获中子后，经两级 β 衰变可生成 ^{239}Pu，它也是一种易裂变核素（参见钚）。天然铀和 ^{235}U 的质量分数小于10% 的富集铀可用作动力反应堆的燃料，^{235}U 的质量分数大于 90 % 的富集铀主要用作核武器的装料，^{235}U 的质量分数介于 10 % 和 90 % 之间的富集铀可作为研究堆的燃料，贫铀可用作穿甲弹的芯体和 γ 射线的屏蔽材料。

（撰写：李文琰 审订：张忠岳）

you baohedu

铀饱和度 degree of uranium saturation 萃取剂萃取的铀量与该萃取剂被铀饱和的量的比值，以百分数表示。在后处理工艺中，随着铀饱和度的提高，铀和钚的分配比将有所下降，基本不被萃取的裂变产物的分配比也将下降。因此控制一定的铀饱和度，在满足铀、钚的定量回收的条件下，有利于对裂变产物的净化。

（撰写：胡景炘 审订：朱永濬）

youbu fenli xunhuan

铀钚分离循环 uranium–plutonium partition cycle 铀钚在其中实现分离的溶剂萃取法核燃料后处理循环过程。即普雷克斯流程的共去污分离循环。该循环包括共萃取去污、铀钚分离和铀反萃三个步骤。在共去污槽（柱）中，用稀释了的磷酸三丁酯（TBP）萃取乏燃料的硝酸溶液，使铀、钚进入有机相而与裂变产物和次锕系元素分离，为提高去污效果，用一定浓度的硝酸对有机相进行洗涤。在铀钚分离槽（柱）中，用还原反萃剂将负载铀、钚的有机相中的钚还原反萃到水相，铀保留在有机相中，为提高分离效果，对反萃水相用稀释了的 TBP 进行补充萃取，常用的还原反萃剂是氨基磺酸亚铁[$Fe(NH_2SO_3)_2$] 和四价铀，或采用电解还原法。在铀反萃槽（柱）中，用稀硝酸将含铀有机相中的铀反萃到水相。现在的后处理厂多用这种循环作为普雷克斯流程的第一循环。

（撰写：马栩泉 审订：林漳基）

youbu hunhe yanghuawu

铀钚混合氧化物 uranium–plutonium mixed dioxide 由 UO_2 和 PuO_2 的混合烧结制成的单相固溶体，以$(U, Pu)O_2$ 表示，简称 MOX。混合氧化物中的UO_2/PuO_2比例随堆型而异，对商用快中子增殖堆一般采用0.75～0.80/0.25～0.20，对压水

$(U_{0.75\sim0.80}, Pu_{0.25\sim0.20})O_{1.97\sim1.98}$ 的物理性质

晶体结构	密度 /$g \cdot cm^{-3}$	熔点 /K	比热容 /$J \cdot (kg \cdot K)^{-1}$	热导率 /$W \cdot (m \cdot K)^{-1}$	热膨胀系数 /$10^{-6} K^{-1}$
面心立方	293K		873K	873K	室温～1873K
(萤石型)	11.04	3041	317	3.3	11.6

堆则约为0.90/0.10。快堆用(U, Pu) O_2的主要物理性质示于表中。(U, Pu)O_2的热导率随PuO_2含量的增加而降低，随O/M减小而减少。其强度比UO_2的低；蠕变速率与温度成倒数关系，随O/M增加而降低。在堆内使用时，混合氧化物产生裂纹、重构、密实、肿胀及裂变气体释放等现象。在设计燃耗100000 MW · d/t HM下，(U, Pu) O_2仍具有好的辐照稳定性。(U, Pu) O_2芯块的制造方法除其粉末混合可采用机械法或共沉淀法外，其余均与二氧化铀芯块的相同。

（撰写：李文埮　审订：张忠岳）

youbu xunhuan

铀—钚循环　uranium–plutonium cycle　见核燃料循环。

youchengkuangdai

铀成矿带　uranium metallogenetic belt　含义与铀成矿省相同，与其区别是具有带状特征。我国一些研究者将铀成矿带作为铀成矿省的次一级成矿单元。

（撰写：赵凤民　审订：胡绍康）

youchengkuang moshi

铀成矿模式　uranium metallogenic models　在对铀成矿作用的认识和理解的基础上，根据统计资料以及各种影响铀成矿的因子和参数（如地层、构造、岩浆岩、成矿时代、温度、深度和压力以及围岩蚀变、交代作用等），以简明的图表或文字形式，对铀矿床形成机理和过程进行的阐述、模拟和推测。较为常见的有地质概念模式和各种类型的铀矿床模式，例如南非维特瓦特斯兰德石英—卵石砾岩型铀矿床的古砂矿成矿模式，中亚地区砂岩型铀矿床的层间氧化带成矿模式等。由于成矿模式是在某些地区、一定数量的矿床地质工作基础上建立起来的，因而有其时间和地区的局限性，在使用时必须结合本地实际情况，进行必要的补充和修正。

（撰写：胡绍康　审订：赵凤民）

youchengkuang nianling

铀成矿年龄　uranium metallogenic age　在地壳发展历史中铀矿床形成的地质时间。在铀矿床中，主要矿石矿物（沥青铀矿等）可以采用U–Pb法测定其形成时代。按照由老到新的次序，全球主要铀成矿时代为：早元古代(2500～2200 Ma)是含金、铀的石英—卵石砾岩型矿床形成时代；中元古代(2000～1100 Ma)为含铀钠长岩、含铀碳酸岩以及内生水成和复成因不整合面型铀矿床形成时代；晚元古代（950～620 Ma）形成了岩浆型和内生水成铀矿床；晚震旦—寒武纪(620～550 Ma)为含铀碳质页岩、碳硅板岩和含炭质碳酸盐型铀矿床形成时代；古生代加里东期和海西期（380～330 Ma, 280～230 Ma)为内生水成铀矿床和少量磷块岩型及黑色页岩型铀矿床形成时代；中生代（200～70 Ma)为磷块岩型、花岗岩型、火山岩型和砂岩型等内生、外生水成铀矿床形成时代；新生代（50 Ma至今）是砂岩型、钙结岩型和磷块岩型水成铀矿床形成时代。

（撰写：胡绍康　审订：赵凤民）

youchengkuang sheng

铀成矿省　uranium metallogenic province　具有独特的地质演化过程和明显的铀的专属性的大地构造单元或构造体系。其面积从几十万平方公里到几百万平方公里。在其范围内至少探明一个包含有大型铀矿床的铀矿田和几个包含有中小型铀矿床的铀矿区。探明的铀资源量在10万吨以上。铀成矿省内的铀矿化具有多成矿期和多种成因。

（撰写：赵凤民　审订：胡绍康）

youchengkuang weiyan shibian

铀成矿围岩蚀变　host rock alteration of uranium ore-formation　岩石在含铀热液作用下，由于化学反应和部分物质的带入、带出而引起原有矿物的组成、化学成分及物理性质等发生一系列的变化。围岩蚀变可以发生在铀成矿作用前，也可以在铀成矿作用同时或以后发生，它是成矿作用的重要组成部分。研究围岩蚀变具有重大的理论和实际意义。

（撰写：胡绍康　审订：赵凤民）

youchengkuang yuanjingqu

铀成矿远景区　uranium metallogenetic perspective area　又称铀成矿预测区。具有铀成矿的地质条件，可能发现铀矿床的地区。它是在区域地质调查、航空能谱测量的基础上，运用已建立的铀成矿理论、铀成矿规律和预测准则进行综合研究而确定的需要进一步进行普查的重点地区。按这些地区铀成矿的地质条件、以往找矿的深度和成果以及可能发现铀矿床的可信度，可分为不同等级的远景区，以便安排普查工作的先后次序。（撰写：赵凤民　审订：胡绍康）

youchengkuang yuanjing yuce

铀成矿远景预测　uranium metallogenetic prospect　为提高铀矿普查勘探的成效和预见性而进行的综合性研究。具体是以已掌握的成矿理论、成矿规律和预测准则，对选定的地区内的地壳演化史、构造—物质组合特征、铀成矿地质条件等按一定的方法进行综合分析，科学地预测所选定的地区内可能发育的铀矿化类型、产出地区（段）以及可能查明的铀资源量。铀成矿远景预测按其目的可划分为定量的和定性的两种：定量预测要求科学地预见铀资源量和其地质—经济参数；定性预测是从大量的一般对象中选出最有潜景的对象或者从潜景不明的背景区中选出相对有潜景的地段。另外根据研究的地区范围大小和采用的比例尺不同，铀成矿远景预测主要可分为：全球性的、小比例尺的、中比例尺的、大比例尺的几种。随着比例尺的增大，预测区面积变小，要求预测精度增高。（撰写：赵凤民　审订：胡绍康）

youchengkuang zuoyong

铀成矿作用　uranium ore-formation　铀从地壳中的分散状态富集成矿床的过程。地壳中铀的成矿作用主要发生在岩浆作用、水溶液作用和变质作用过程中。在岩浆作用过程中，铀随着岩浆的结晶、分异、演化，在其后期形成晶质铀矿或含铀矿物，并富集于岩体的有利部位，构成规模不等、品位较低的铀矿床，如我国的赛马矿床等。水溶液成矿作用系指含矿的水溶液在运移途中，由于环境和介质条件的改变，以及水溶液对围岩发生的交代改造作用，使铀活化迁移和沉淀富集并形成矿床的过程。铀的水溶液成矿作用是最主要的铀成矿作用，矿床类型众多，包括内生热水溶液作用所形成的脉状、似脉状和网脉浸染状铀矿床，如火山岩型铀矿床等，外生“冷”水溶液作用所形成的层状、似层状、板状和卷状矿床，如砂岩型等。变质成矿作用系指在变质作用过程中，部分有用组分（包括铀）发生活化、转移、再分配，

并在有利部位沉淀富集并形成矿床的过程，如南非维特瓦特斯兰德矿床、我国连山关矿床等。

（撰写：胡绍康　审订：赵凤民）

youchuliang chengben fenji

铀储量成本分级　cost categories of uranium reserves　在1995年国际经济合作与发展组织的核能机构和国际原子能机构关于铀资源、生产和需求的联合报告中将铀储量成本级别按1995年1月1日的美元值来表示分成4类：\$40/kgU或以下；\$80/kgU或以下；\$130/kgU或以下；以及\$260/kgU或以下。为了划分铀储量的成本级别而评估其生产成本，要计算如下的费用：(1)铀矿开采、运输及矿石加工的直接费用；(2)与环境保护及废物处理的有关费用；(3)非营运状态的生产单元的维持费用；(4)对正在进行的项目而言，涉及那些尚未分担的投资费用；(5)提供新生产单元的投资费用，包括财务费用；(6)间接费用，诸如办公管理费用、税款和矿区地税；(7)今后的勘探、开发费用。在1998年国际原子能机构散发的一份“至2020年的铀资源和铀生产能力的评述”报告中，将铀储量的生产成本划分为三个级别：低成本＜\$33.8/kgU(\$13/1b U_3O_8)；中等成本\$33.8～\$52.00/kgU (\$13～\$20/1b U_3O_8)；高成本＞\$52.00/kgU (\$20/1b U_3O_8)。

（撰写：胡绍康　审订：赵凤民）

you chunhuachang

铀纯化厂　uranium purification plant　将不同形式的铀化学浓缩物经溶剂萃取纯化，去除其中的有害杂质，特别是中子俘获截面大的杂质元素，然后转化成UO_2、金属铀或UF_6的工厂。目前铀纯化厂所收到的铀化学浓缩物通常是组成为铀的氧化物或钠、镁及铵的重铀酸盐。采用的工艺流程基本上是溶剂萃取纯化法。虽然铀纯化厂广泛应用了不同类型的溶剂萃取接触器(如混合澄清器、脉冲填料塔、脉冲筛板塔等)，但其基本工艺流程是类似的，即铀化学浓缩物用硝酸溶解，磷酸三丁酯萃取纯化，水反萃取得到高纯硝酸铀酰溶液。

（撰写：牛玉清　审订：程光荣）

you de baoheshuzhi zaixifu

铀的饱和树脂再吸附　saturated resin readsorption of uranium　由吸附工序所得铀的饱和树脂，在解吸前于适宜条件下从部分合格解吸液中再吸附铀的过程。该法目前仅用于吸附硫酸铀酰络合物的饱和树脂，其目的是进一步提高解吸时的树脂铀容量，并去除一部分杂质，从而获得铀浓度更高、杂质浓度更低的合格解吸液，使沉淀法回收铀更经济而产品纯度更高。

（撰写：许根福　审订：关自斌）

you de fengduzhi

铀的丰度值　abundance of uranium　铀在各种宇宙体或地质体(太阳、行星、陨石、地球、地壳等)中的平均含量。铀在太阳系的平均含量称为铀的宇宙丰度，在整个地球的平均含量称为铀的地球丰度(或地球的铀丰度)，铀在地壳中的平均含量称为铀的地壳丰度(或地壳的铀丰度)。丰度用g/t或10^{-6}表示。

（撰写：胡绍康　审订：赵凤民）

you de fuhuawu

铀的氟化物　fluorides of uranium　铀与氟生成的不同价态的铀氟化物，已发现的有UF_3，UF_4，U_4F_{17}，U_2F_9，UF_5和UF_6。在核工业中最重要的铀氟化物为UF_4和UF_6，它们是目前工业规模生产的铀氟化物。UF_4是生产金属铀和UF_6的重要中间产品。UF_4通过钙(镁)金属热还原法生产金属铀，是制备金属铀最适宜的原料。以UF_4为原料，通过F_2氟化制备UF_6，是经济上最合理的生产方法。UF_4的工业制备方法有干法氢氟化过程和湿法氢氟化沉淀过程。UF_6是用气体扩散法和高速离心法分离铀同位素^{235}U和^{238}U，生产浓缩铀的理想介质。铀的中间氟化物(U_4F_{17}，U_2F_9和UF_5)在化学上具有不稳定性，易发生水解与歧化反应。

（撰写：崔秉懿　审订：朱永𬭚）

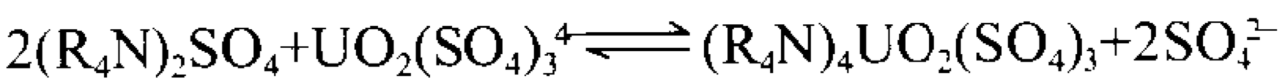
you de kelakezhi

铀的克拉克值　Clarke of uranium　铀在地壳中的平均含量。克拉克值是为纪念美国分析化学家克拉克(F.W.Clarke)而命名。一种元素的克拉克值是以其在地壳总重量中所占的百分数表示，称为重量克拉克值。例如地壳总重量为2.6×10^{19}t，地壳中铀的总重量为6.5×10^{13}t，则铀的重量克拉克值是2.5×10^{-4}%。对于像铀一类的微量元素现在用g/t或10^{-6}表示。

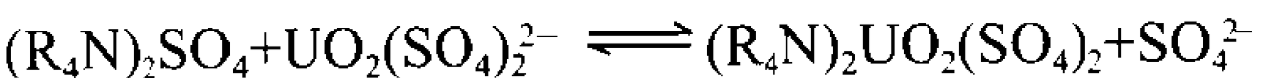
（撰写：胡绍康　审订：赵凤民）

you de lizi jiaohuan

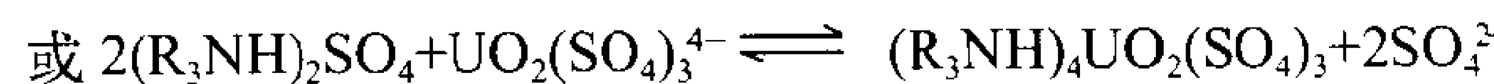
铀的离子交换　ion exchange of uranium　利用适宜的离子交换剂中的可交换离子与溶液中多种离子间的离子交换能力的不同将铀和杂质进行分离的方法。离子交换是铀水冶中的一种重要工艺。常用阴离子交换树脂从浸出料液(清液或矿浆、酸性或碱性)中吸附铀，再通过解吸反应将铀转入解吸液中，从而将绝大部分杂质去除，并使铀富集。强碱性或弱碱性树脂从酸性料液中吸附铀的反应式一般可写为



$$2(R_4N)_2SO_4+UO_2(SO_4)_3^{4-} \rightleftharpoons (R_4N)_4UO_2(SO_4)_3+2SO_4^{2-}$$



$$(R_4N)_2SO_4+UO_2(SO_4)_2^{2-} \rightleftharpoons (R_4N)_2UO_2(SO_4)_2+SO_4^{2-}$$

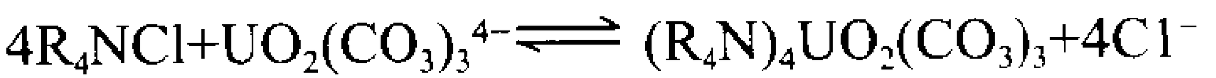


或 $$2(R_3NH)_2SO_4+UO_2(SO_4)_3^{4-} \rightleftharpoons (R_3NH)_4UO_2(SO_4)_3+2SO_4^{2-}$$



$$(R_3NH)_2SO_4+UO_2(SO_4)_2^{2-} \rightleftharpoons (R_3NH)_2UO_2(SO_4)_2+SO_4^{2-}$$

强碱性树脂从碱性料液中吸附铀的反应式一般可写为



$$4R_4NCl+UO_2(CO_3)_3^{4-} \rightleftharpoons (R_4N)_4UO_2(CO_3)_3+4Cl^-$$

式中R代表骨架及烷基。一般离子交换是按化学计算量进行的，而且是可逆的(不可逆吸附将使树脂中毒)；因树脂与溶液间的离子交换属非均相反应，在生产上的有限操作时间内，该反应实际上达不到平衡。

（撰写：许根福　审订：关自斌）

you de zhongjian fuhuawu

铀的中间氟化物　intermediate fluorides of uranium　在铀的氟化物中，氟与铀的原子比大于4而小于或等于5，即介于UF_4与UF_6之间的一类铀氟二元化合物。已被证实的有U_4F_{17} (F/U＝4.25)，U_2F_9 (F/U＝4.50)和UF_5 (U/F＝5.00)。所有铀的中间氟化物都是晶体物质，其晶格中所有铀离子都是等价的，不应将它们视为UF_4与UF_6所组成的复盐。它们都有可能在UF_4氟化和UF_6还原过程中生成。在利用F_2氟化UF_4制备UF_6的反应过程中，当反应温度较低(如205℃)、F_2量相对不足时，容易生成UF_5等中间氟化物。由于其熔点(如UF_5约348℃)远比UF_4的熔点(1036℃)低，在UF_4氟化过程中物料易于烧结，妨碍正常操作，并堵塞反应设备和管道。在UF_4氟化和UF_6还原过程中，应力求避免铀的中间氟化物的生成。

（撰写：崔秉懿　审订：朱永𬭚）

you de zhuanhua

铀的转化 conversion of uranium product 将铀化合物（如硝酸铀酰）化学转化为核燃料循环所需的金属铀及其化合物（如二氧化铀、六氟化铀等）的一类工艺过程。铀化合物的转化加工是核燃料循环的重要组成部分。核工业所需的天然铀金属及其化合物 UO_2、UF_6 等均由铀转化厂提供。如铀矿石经提取、精制所得的纯硝酸铀酰溶液脱硝转化为 UO_3,UO_3 经氢气还原转化转化为 UO_2,UO_2 经氢氟化转化为 UF_4,UF_4 经氟气氟化转化为 UF_6 等转化加工过程都是核燃料生产必不可少的重要环节。辐照铀燃料后处理铀的回收工艺中也有类似的铀转化加工过程。六氟化铀的还原转化为 UO_2、UF_4 和金属铀是转化工艺的一个重要方面。铀同位素分离后的低浓缩 UF_6 经还原转化为 UO_2，加工成陶瓷元件用作轻水堆燃料；高浓缩 UF_6 还原转化为 UF_4，进一步还原为金属铀，用于核武器装料或高通量堆；贫化 UF_6 则还原转化为 UO_2 贮藏或还原为金属铀用于快中子堆等。

（撰写：崔秉懿　审定：应纯同）

you diqiuhuaxue

铀地球化学 uranium geochemistry 研究地壳中铀的行为、分布特征及地球化学活动历史的学科。内容包括：铀的地球化学性质，铀在地壳及各类岩石、矿物中的含量、存在形式及在各种地质作用中迁移、富集的规律，模拟地壳中各种铀的地球化学作用过程，为铀矿找矿勘探、铀的开发利用以及环境保护提供可靠的依据。

（撰写：胡绍康　审订：赵凤民）

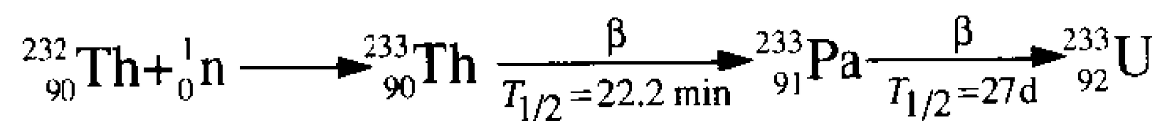
you diqiuhuaxue zhang

铀地球化学障 geochemical barrier of uranium 铀的迁移强度急剧降低，形成铀的富集的地段。研究铀地球化学障对于了解渗入型水成铀矿床的成因，指导找矿勘探具有理论和实际意义。主要有以下三种情况：(1) 还原障。指由氧化环境进入还原环境的地段；(2) 中和障。指由酸性环境进入碱性环境的地段；(3) 生物障。指表生带中由于生物作用在短距离内元素迁移条件明显更替，并导致某些化学元素沉淀浓集的地段。铀一般在还原障上聚集，还原障又可分为硫化氢障和潜育障。在硫化氢障上，铀和铁都是不活动的。在潜育障上出现两种情形：在弱潜育障上、铀和铁都是活动的；在强潜育障上，铀是不活动的，而铁仍然是活动的。

（撰写：胡绍康　审订：赵凤民）

you 233

铀-233 uranium-233 质量数为233的铀的同位素。具有 α 放射性，半衰期为 1.62×10^5a。^{233}U 是 ^{232}Th 俘获中子后经过两次 β 衰变生成的人造同位素



$$^{232}_{90}Th + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{233}_{90}Th \xrightarrow[T_{1/2}=22.2\,min]{\beta} ^{233}_{91}Pa \xrightarrow[T_{1/2}=27d]{\beta} ^{233}_{92}U$$

^{233}U 是一种性能优越的可裂变核素，它在热中子作用下容易发生核裂变，裂变截面 5.311 b，每次裂变产生 2.492 个中子。^{233}U 每吸收一个热中子产生的裂变中子数（即可以引起新的核裂变的中子数）n 为 2.287，高于 ^{235}U 和 ^{239}Pu 的 n。

（撰写：马栩泉　审订：林漳基）

you hejin

铀合金 uranium alloy 铀与其他元素组成的合金的统称。包括以铀为基和以其他元素为基两类。为了改善铀在反应堆中使用的尺寸不稳定性，曾采取以下合金化措施：(1) 添加少量的铝、硅、铬、铁或进行适当的热处理如 β 相淬火，得到细晶粒的调质铀；(2) 加入适量的钼、钛、锆和铌，以稳定具有立方晶格的 γ 相铀，提高了铀的各向同性；(3) 配制 Al-U 合金和Zr-U合金，分别形成在基体铝和锆中析出 UAl_4 和 UZr_2 细颗粒的弥散型合金，提高了强度，抑制了尺寸不稳定性。这些二元合金曾在早期的研究堆、生产堆中得到应用。U-Pu-Zr 三元合金的抗肿胀能力较好，在快中子实验增殖堆中的使用性能良好。

（撰写：李文埮　审订：张忠岳）

youhejin de lixin zhuzao

铀合金的离心铸造 centrifugal casting of uranium alloy 将液体铀合金浇入旋转的铸型中，在离心力作用下充填铸型并凝固成铸件的铸造方法。铀合金离心铸造用的铸型有金属型和石墨型。石墨铸型易加工，侵蚀少；铜铸型可生产优质的铀合金铸件。铸型转速的选择应保证液态金属迅速充填铸型，并获得组织致密的铸件。铀合金离心铸造的优点是：铸件的晶粒细，呈无规取向，在热循环后不发生起皱和生长现象；结合真空铸造可铸出精密工件；与其他（如轧制、挤压等）加工方法相比，成本较低。离心铸造已广泛应用于 U-Al、U-Zr 等合金中空圆柱形铸件的制造。

（撰写：李文埮　审订：张忠岳）

you huaxue nongsuowu

铀化学浓缩物 uranium chemical concentrate 用一系列化学方法处理铀矿石及其他含铀物料而制得的含铀量高的粗制产品。铀化学浓缩物是铀水冶厂的产品，也是铀纯化厂的原料，与铀水冶厂的原料——铀矿石相比，其中铀的含量提高了两个数量级左右。铀化学浓缩物的化学形式可以是：重铀酸盐（黄饼）、过氧化物、三碳酸铀酰铵等。制备方法包括：(1) 从酸性铀溶液中沉淀重铀酸盐的碱中和法；(2) 从碱性铀溶液中沉淀重铀酸钠的氢氧化钠沉淀法；(3) 从酸性铀溶液中沉淀过氧化物的过氧化氢沉淀法；(4) 从含铀的稀碳酸盐溶液中沉淀三碳酸铀酰铵的盐析结晶法；(5) 从铀的饱和有机相中制取三碳酸铀酰铵等的结晶反萃取法。铀化学浓缩物作为核燃料生产系统的中间产品，必须符合一定的规格，包括铀含量和杂质含量，以便与铀纯化厂进一步加工的要求相适应。

（撰写：赵锡熊　审订：许根福）

you jinchuji

铀浸出剂 leaching reagent of uranium 能把矿石中的铀有选择性地、较完全地溶解到溶液中的化学试剂。此时，除应考虑矿石的类型、岩性特征之外，尚需考虑试剂价格、来源及其对设备腐蚀等因素。铀矿石的品位很低，浸出剂的价格和耗量在很大程度上影响最终产品的成本。酸法浸出的浸出剂一般用硫酸。硫酸具有较强的浸出能力、价格低廉等优点。也曾使用过硝酸，它具有较强的氧化性，但比硫酸贵，也不安全，易逸出 NO 和 NO_2 等有毒气体。盐酸除了价格比硫酸贵外，它的腐蚀性也最强。碱法浸出的浸出剂一般采用 Na_2CO_3 和 $NaHCO_3$ 的混合溶液。它们的价格虽比硫酸高，但对铀的选择性好，回收也方便，而且在各种浓度和温度下腐蚀性不强。其缺点是浸出能力较弱，常需在加压容器中进行。然而，碱法浸出能处理碳酸盐含量高（大于5%）的矿石，也适用于钾钒铀矿的综合利用。也曾试验用 $(NH_4)_2CO_3$ 溶液作

碱法浸出剂，因与 Na_2CO_3 相比没有明显优势，至今尚无工业采用。（撰写：夏润身　审订：赵锡熊）

you jinghua xunhuan

铀净化循环 uranium decontamination cycle 又称铀纯化循环，在水法后处理过程中，与钚和裂变产物初步分离后的铀溶液再次进行萃取分离，进一步除去钚和裂变产物的过程。铀净化循环是水法后处理中获取合格铀产品的一个重要环节。第一萃取循环（共去污循环）得到铀的初产品液，进入铀净化循环。铀净化循环由 2 D（萃取）、2 E（反萃）两个萃取器组成。来自共去污分离循环的铀初产品液可以进行浓缩（浓流程）或不进行浓缩（稀流程）。料液可先进行加肼预处理，使钌转化成不易被TBP萃取的形态，从而强化对钌的净化。有时，在预处理时加入某种还原剂或络合剂，以强化对钚的分离。预处理后，料液进行酸度和铀浓度的调整，进入 2 D 萃取器。2 D 萃取器由萃取段和洗涤段组成。在萃取段中，铀被萃取、微量钚和部分镎同时被萃取；在洗涤段中，有机相与含还原剂或络合剂的低酸洗涤液逆流接触，进一步除去钚、镎和锆。在 2 E 萃取器中用稀酸对铀进行反萃，反萃液（2 EU）即为铀净化循环的产品液。（撰写：章泽甫　审订：朱永𬹼）

youkuang caijuebi

铀矿采掘比 production-development ratio of uranium deposit mining 铀矿山年度采矿总量与掘进总量之比。采矿量以千吨（kt）为单位；掘进量包括当年开拓工程、生产探矿工程、切割工程、采准工程总量，以米（m）为单位。根据需要也可将采掘比分别叙述为开拓千吨比、探矿千吨比、采准千吨比、切割千吨比。采掘比是衡量开采技术条件优劣的一个重要指标，从采掘比大小可以看到采矿难易程度和采矿成本的高低。采掘比小，说明矿体分布集中，摊派给单位采矿成本中的掘进工程量少，掘进费用低；采掘比大，说明矿体分散、较薄、埋藏较深，开采时必须投入较多的井巷工程量，每吨矿石分摊的掘进费用高。铀矿床一般规模较小，矿体分散，因此采掘比一般偏大，铀矿山平均采掘比约为 40 m/kt。（撰写：李开文　审订：郑仕忠）

youkuang chucaibi

铀矿储采比 reserve–productivity ratio of uranium deposit mining 铀矿开采中矿床储量与矿井生产规模之比。它是评价铀矿勘探与铀矿开采关系的一个重要因素，反映探采关系是否正常。此处矿床储量是指表内储量，矿井生产规模是指实际生产规模。储采比过大将积压勘探资金，储采比过小则保证不了矿山均衡生产。铀矿开采中，20 世纪 80 年代以前储采比为（30～35）：1，从 90 年代初起储采比调整为（20～25）：1，储采比涉及到矿山均衡生产的实现，是国家对铀矿冶发展进行宏观决策的重要指标。（撰写：李开文　审订：郑仕忠）

youkuang chuliang fenlei

铀矿储量分类 classification of uranium reserves 根据我国当前的技术经济条件和现行法规的规定，并考虑远景发展的需要，将铀矿储量分为两大类：能利用（表内）储量（第Ⅰ类）和尚难利用（表外）储量（第Ⅱ类）。第Ⅰ类储量按矿床内、外部技术经济条件又可分为两大亚类：（1）a 亚类是符合当前的采、选、冶、加工技术条件，符合当前的工业指标要求，符合当前的矿山建设的内、外部经济条件，国家现行法规允许开发利用的储量。（2）b 亚类是符合当前的采、选、冶、加工技术条件，符合当前的工业指标要求，符合矿山建设的内部经济条件，但交通、供水或能源等矿山建设的外部经济条件差，改善其外部经济条件后即能利用，国家现行法规允许开发利用的储量。第Ⅱ类尚难利用（表外）储量，是由于矿石品位低、矿体厚度薄、埋藏深，矿床水文地质、工程地质、环境地质等开采条件特别复杂，或对矿石的选、冶、加工技术方法尚未解决，或位于自然保护区、名胜古迹、重要建筑物、交通干线之下和有争议的国境线附近，受国家法规限制，当前尚难利用的储量。（撰写：胡绍康　审订：赵凤民）

youkuang chuliang jisuan

铀矿储量计算 calculation of uranium reserves 根据勘探工作所获得的矿床（或矿体）的资料、数据，运用铀矿床学的理论及所选择的合理的方法，按照铀矿勘探规范规定的指标，确定铀矿床（或铀矿体）铀矿石的数量、质量、空间分布、开采和选冶技术条件及研究的可信度的过程。它是铀矿勘探工作中的一项主要内容。铀矿储量计算的基本原则是：（1）必须根据核工业主管部门正式批准的工业指标圈定矿体，计算储量；（2）矿床中的储量应按矿体（层）、级别、块段、类型分别计算；（3）参加储量计算的各项工程和工作的质量应符合有关规范、规程和规定的要求；（4）储量计算是计算原地储量，不扣除采、选、冶和加工的损失，但应扣除截至野外施工结束时采空的储量；（5）对有工业价值的共生和伴生矿产应分别计算其储量；（6）对能利用和尚难利用的储量应分别计算。铀矿储量计算常用的方法为地质块段法和剖面法。（撰写：赵凤民　审订：胡绍康）

youkuangchuang

铀矿床 uranium deposit 在一定地质过程作用下形成于地壳中某种特定地质环境内的铀矿物和（或）含铀物质集合体，其质和量能满足当前铀工业的要求，且在当前的经济和技术条件下能被经济地开采和利用。铀矿床的概念是动态的，随着社会生产力和科学技术的发展以及人们对矿物原料需要量的变化，铀矿床的范畴也在不断变化。有些过去没有使用价值的“岩石”或低品位矿化岩石，现今可能是经济可采的铀矿床，可地浸砂岩型铀矿床即是一例。（撰写：陈祖伊　审订：赵凤民）

youkuangchuang kaicai jishu tiaojian

铀矿床开采技术条件 technical conditions for uranium deposit mining 在地质、水文地质、工程地质、环境地质、物质组成等方面影响铀矿床开采的技术因素。具体有：（1）矿体走向长度、倾角、厚度、埋藏深度、矿体连续性、矿体规模、矿体最小可采厚度、最大允许夹石剔除厚度；（2）主要含水层的分布、隔水层的分布、预计的矿坑涌水量、地表水等对矿床的影响等矿床水文地质类型；（3）矿体（层）及其顶底板岩石的稳定性、矿石密度、孔隙度、松散系数、硬度、爆破率、安息角、风化带的发育深度、矿床工程地质类型；（4）放射性元素和其他有毒有害物质成分、有害气体和地热等分布、地震基本烈度及不良地质现象。（撰写：李 政　审订：李开文）

youkuangchuang kantan leixing

铀矿床勘探类型 exploration type of uranium deposit 依据影响铀矿床勘探的主要矿体的规模、形态、内部结构、构造的复杂程度、铀矿化的均匀性、连续性、稳定性等地质因素将铀矿床进行划分的类型。一般分为以下五类：(1) 第Ⅰ勘探类型：主矿体规模巨大，形态简单，厚度稳定或较稳定；(2) 第Ⅱ勘探类型：主矿体规模大到巨大，形态简单或较简单，厚度较稳定；(3) 第Ⅲ勘探类型：主矿体规模中等到大，形态简单到复杂，有分支复合现象；(4) 第Ⅳ勘探类型：矿体规模小到中等，形态复杂到很复杂，厚度不稳定至很不稳定；(5) 第Ⅴ勘探类型：矿体规模很小到小，形态复杂到极复杂，矿化不均匀至极不均匀，厚度很不稳定至极不稳定，构造对矿体破坏甚多。铀矿床勘探类型是正确选择铀矿床勘探方法，合理确定勘探工程间距等的主要依据。

（撰写：李 政 审订：李开文）

youkuangchuang leixing

铀矿床类型 type of uranium deposit 根据铀矿床的某些共同地质特征，如：容矿主岩、形成机制(成因)、控矿构造、蚀变、矿物共生组合等将铀矿床划分成的若干类型。铀矿床学的研究多以矿床成因作为主要分类原则，把铀矿床划分为内生铀矿床和外生铀矿床，然后，再根据矿床的成矿环境、容矿主岩、成矿作用的特征进行细分。我国铀矿地质工作者把我国的铀矿床划分为花岗岩型、火山岩型、碳硅泥岩型和砂岩型四大类型。国际原子能机构提出的新的铀矿床分类方案，将铀矿床划分为：不整合面—接触型、准不整合—浅变质型、脉型、塌陷角砾岩筒型、表生型、石英卵石—砾岩型、角砾杂岩型、侵入岩型、磷块岩型、火山岩型、交代岩型、同变质型、褐煤型和黑色页岩型等15种。

（撰写：陈祖伊 审订：赵凤民）

youkuangchuang shuiwen dizhi leixing

铀矿床水文地质类型 the type of hydrogeology of uranium deposit 根据地表水体富水性、水文条件对采掘作业的影响程度等因素将铀矿床水文地质进行划分的类型。铀矿床共分为四种水文地质类型(见表)。

铀矿床水文地质类型分类表

类型	地表水体	富水性	采掘作业受水害影响程度
简单	矿床附近无地表水体，地下水不发育	<0.05 L (s · m)	不受水影响
中等	地表有水体，地下水不发育	0.05～0.1 L (s · m)	受影响，但影响不大
复杂	地表有大小水体，并与地下水联系	0.1～1 L (s · m)	矿井安全受水害威胁
极复杂	地表有大小水体，并与地下水联系密切	>1 L (s · m)	矿井突水频繁，水害威胁十分严重

（撰写：杜运斌 审订：李开文）

youkuang dizhi kantan

铀矿地质勘探 uranium geological exploration 对具有工业利用价值并拟在近期开采利用的铀矿床或详查所圈定的铀矿化地段系统地加密揭露工程，探求勘探储量，提交铀矿地质勘探报告，为矿山建设和规划提供必需的资料。具体要求查明以下方面：成矿地质条件和矿产分布情况；主矿体(或主要矿体)和矿石的特征；有用组分和有害组分的含量及分布规律，对具有经济价值的有用组分进行综合评价；影响矿床开采的水文地质、工程地质、环境地质的条件，并预测矿山开采过程中可能出现的各种问题。针对不同类型矿石进行加工选冶性能试验，对难选冶矿石或新类型矿石进行半工业试验，甚至工业试验。按矿床勘探类型提交相应级别的铀储量。

（撰写：赵凤民 审订：胡绍康）

youkuang dizhi xiangcha

铀矿地质详查 uranium geological detailed prospecting 对经过铀矿普查阶段工作证实具有进一步工作价值的铀矿化详查区，作出是否具有工业价值的评价，探求详查储量，提交详查报告，为是否进行勘探提供依据。具体要求查明以下方面的问题：矿床地质、水文地质、地球物理场的特征和其对矿化的控制作用；矿体和矿石的特征；矿石的水冶加工性能；工程地质条件和矿山开采可能产生的环境地质和环境污染问题。内生铀矿床的详查深度一般控制在300～500 m，个别情况可超过500 m。按规范要求提供相应级别的储量。详查报告可作为矿山总体规划或总体设计以及矿山建设项目建议书的依据。

（撰写：赵凤民 审订：胡绍康）

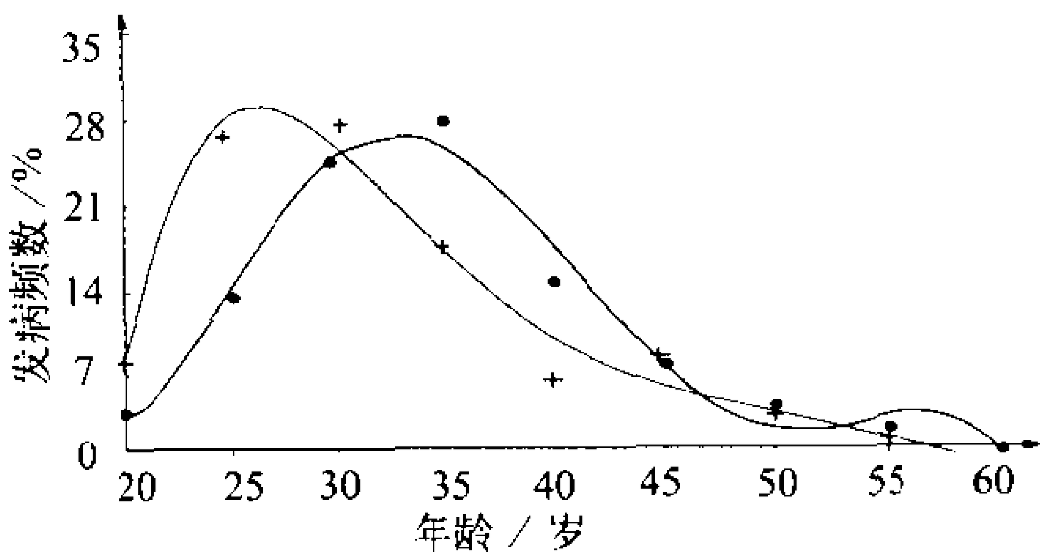
youkuangdian

铀矿点 uranium occurrence 凡异常点(带)、矿化点经比较系统的浅、深部揭露，已大致查明矿化特征与控矿因素，圈出有工业矿体，其普查储量大于或等于1 tU，小于100 tU时，称为铀矿点。通过对铀矿点的详查或勘探，它可能发展成为铀矿床。

（撰写：赵凤民 审订：胡绍康）

youkuanggong chenfei

铀矿工尘肺 pneumoconiosis of uranium miner 又称铀矿工矽肺 (uranium miner's silicosis)。在铀矿勘探、开采及铀矿



纯铀矿与混铀矿尘肺发病年龄比较

+—纯铀矿尘肺；●—混铀矿尘肺

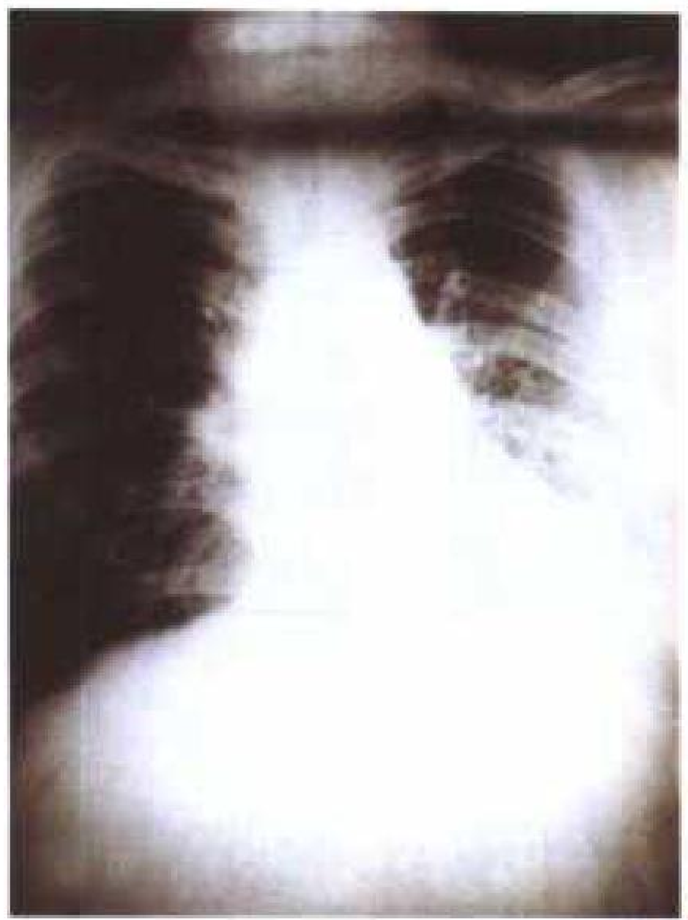
石加工等生产过程中，工作人员长期吸入铀矿粉尘引起的以肺组织纤维化为主的全身性疾病。铀矿工尘肺的发生、发展与接触铀矿尘的时间、浓度、游离二氧化硅 (SiO_2) 含量、个人防护状况及个体因素有关。一般在接触铀矿尘后5～15年发病。也有1～2年发病的急性矽肺病例。流行病学调查结果显示，铀矿工尘肺具有发病快、晋期快、病程短及死亡提前等特点(见图)。铀矿工尘肺的诊断、治疗与非铀矿工尘肺没有原则上的差别。

（撰写：高增林 审订：孙世荃）

youkuanggong feiai

铀矿工肺癌 lung cancer of uranium miner 在铀矿勘探开采中，井下工作人员受到氡及其子体的照射后出现的，并与该照射具有一定程度病因学联系的原发性肺癌，是我国核工业

人群中惟一得到证实的放射性肿瘤，属随机性效应。氡及其子体的积累常见于缺乏有效通风和防护措施的铀矿井下坑道，使矿工呼吸道表面受到氡的短寿命子体不断衰变产生的α照射。氡子体诱发肺癌的靶细胞是气管—支气管上皮基底细胞和肺的上皮细胞，复合吸烟可以增加氡子体的致癌作用。铀矿工肺癌临床表现与一般肺癌相似（见图）。在治疗上也类似同类肺癌。为了确定矿工肺癌起因于氡子体的照射的可能性，可以利用我国根据病因概率（probability of causation，PC）原理编制和颁布的《放射性肿瘤判断标准及处理原则》（GB 16386—1996）。把 PC ≥ 50 %作为判断放射性肿瘤的界限。为了控制铀矿工肺癌的发生，应将氡子体的年暴露量控制在 4 WLM 以下。



铀矿工肺癌

1950～1974 年在铀矿井下工作矿工，氡子体累积剂量133 WLM，1978年诊断肺癌，X光片见左肺下叶阴影

（撰写：谢满廷　审订：吴　企）

youkuang gongye zhibiao

铀矿工业指标　industrial index of uranium deposit　圈定铀矿体、计算铀矿床储量的参数。主要参数有：(1) 边界品位；(2) 最低工业品位；(3) 最小可采厚度；(4) 夹石剔除厚度；(5) 最低工业米百分值。铀矿工业指标是在铀矿床可行性或预可行性评价的基础上，认真分析一定时期国内外铀矿产品的供求形势、生产技术水平和经济条件，经过技术经济论证而制定的。它是一个动态的指标体系。

（撰写：李　政　审订：李开文）

youkuangjing chongtian

铀矿井充填　stope backfilling in uranium mining　在铀矿地下开采中，将充填料（石块、尾砂）充入井下采空区的作业。其目的是提高采空区承受外力，控制地表下沉，减轻大面积地压活动，改善矿柱回收条件，保证井下作业安全。矿井充填一方面指采完之后对采空区一次性事后充填；另一方面是指在充填采矿法回采过程中，作为回采作业中一项主要工序，一边回采一边充填；此外，还为下分层开采创造作业台阶。由于充填采矿法使用十分灵活，能适应铀矿体埋藏多变状况，作业条件较好，有利于减少氡气和氡子体析出，便于降低损失、贫化，所以它是铀矿地下开采中的主要采矿方法。根据铀矿山充填料的不同，分干式充填、水砂充填、胶结充填等；根据采场分层回采顺序不同，又分上向充填和下向充填；根据回采分层的倾角不同，分水平分层充填和倾斜分层充填。

（撰写：李开文　审订：郑仕忠）

youkuangjing tongfeng

铀矿井通风　ventilation in uranium mines　从地面向铀矿井内不断地供给足够的新鲜空气，同时将井下污浊的空气不断地排至地面的过程。进风井与出风井位于井田走向中央的称中央式通风系统，进出风井各居井田两翼或进风井居井田中央、出风井居一翼的称对角式通风系统。沿井田走向或垂直方向划分几个互不相通的独立通风区域称为分区式通风系统；通风方式有压入式、抽出式和压抽混合式。铀矿井除含有一般矿山常有的有害物质之外，还存在镭衰变过程中产生的氡及其子体，为此，采用机械通风，加大风量；优先采用压入式通风和分区通风；主要风道尽量布置在脉外；留矿法和尾砂充填采矿法的采场尽可能用下行通风；将氡气与氡子体稀释到低于国家规定的导出空气浓度（DAC）的原则计算风量等特殊措施。

（撰写：王昌汉　审订：李开文）

youkuang lutian kaicai

铀矿露天开采　open pit of uranium mining　通过从地表先剥离覆盖岩层，而后开采铀矿石的开采方式。与铀矿地下开采及其他矿种露天开采相比具有以下优点：(1) 辐射防护条件好，矿岩析出的氡气及其子体直接在大气扩散，能最大限度减少对人体的危害；(2) 易于开展生产探矿，扩大储量；(3) 铀露天矿中 85 %属山坡露天，平均剥采比较小（2～3 m^3/t），实际境界剥采比也只是 4～7 m^3/t；(4) 铀露天矿大多数属短采场，地表境界较小，可全部采用汽车运输开拓方式，布线形式大多数为直进式，运输干线设在采场境界外；(5) 排土场小而分散，一般就近山谷堆放废石，运距短、运费低；(6) 开采成本低，劳动功效高。

（撰写：陈景良　审订：李开文）

youkuang pucha zhaokuang

铀矿普查找矿　uranium prospecting　铀矿勘查工作的初期阶段。根据铀矿地质资料和综合找矿信息，运用有效的技术方法，在选定的铀成矿远景区内，大致查明铀成矿地质背景、放射性地球物理场、地球化学场特征，圈出成矿远景地段，发现和评价铀异常点（带）、矿化点及查明是否有进一步工作价值的矿床或矿体，为详查工作提供依据及建议。

（撰写：赵凤民　审订：胡绍康）

youkuangshan feishi

铀矿山废石　waste rock of uranium mines　铀矿山采矿过程中产生的、没有利用价值的脉石和经过拣选后的低品位表外铀矿石。铀矿山废石的数量相当大，一般都堆积在坑口或采矿场附近。这些废石的比活度一般可高于普通岩石 5～50 倍，在露天堆积情况下，由于雨水的浸渍和淋洗会污染水体，由于风化会产生放射性粉尘。废石堆还会不断地释放氡气，造成周围环境污染。铀矿山废石可用于充填井下矿和露天矿的采空区，回填时应注意对地下水的影响。在铀矿山退役时对废石堆应进行稳定化处理，例如建造拦石坝防止废石流失；在废石堆周围设置防洪沟；并应尽量用土或其他岩石覆盖废石堆以减少雨水的渗入和减少氡的释出。

（撰写：王　骑　审订：孙明生）

youkuangshan sanji kuangliang

铀矿山三级矿量　three graded reserves in uranium deposit mining　铀矿地下开采中矿井所保有的开拓矿量、采准矿量及备采矿量，三者应能保持一定的比例。铀矿山地下开采三级矿量保有期应为：开拓矿量 3 年；采准矿量 1 年；备采矿量 6 个月。露天铀矿山开拓矿量应为 2 年、备采矿量应为 1 年。三级矿量是否保持平衡，是衡量铀矿山能否均衡生产的重要指标。

（撰写：李开文　审订：郑仕忠）

youkuangshan zhili

铀矿山治理 remediation of uranium mines 通过一定的工程措施把铀矿山采矿活动造成的放射性污染控制在可接受的范围内的过程。包括废弃建筑物和矿井作业区的处理；污染源和被污染材料的处理；废石场、堆浸场和尾矿库的稳定化处置；地浸采矿设施的治理等。一般通过建坎、覆盖和植被等方式治理废石场、堆浸场和尾矿库；通过抽取被污染的地下水净化、回灌的方法治理地浸采矿地下水。

（撰写：王驹 审订：孙明生）

youkuangshi

铀矿石 uranium ore 现有经济技术条件下能经济地从中提取铀（元素、化合物或矿物）为国民经济所用的天然矿物集合体。决定铀矿石或非铀矿石的最主要因素是矿化岩石中铀的品位及从中提取铀的难易程度。矿石的概念是动态的，是随社会生产力和科学技术的发展而变化的。地浸采铀技术的开发成功使先前因铀品位低、矿化岩石结构松散且充水的铀矿化砂岩一跃而成为重要的经济可采铀矿石即是一例。

（撰写：陈祖伊 审订：赵凤民）

youkuangshi fangshexing fenxuan

铀矿石放射性分选 radiometric sorting of uranium ore 按铀矿石中天然放射性活度差异，将矿石分成铀品位不同的精矿和尾矿的选矿方法。铀矿石放射的γ射线活度与铀含量成正相关关系，因而可利用铀矿石产生的γ射线活度强弱进行铀矿石放射性分选，从而将铀矿石分成不同品级的产品。开采较贫的铀矿石时，若直接进行水冶加工，不但技术上不合理，而且经济上也不合算。为此，通常采用放射性分选法富集铀矿石，一般可从送往放射性分选厂的原矿中选出15%～30%的废弃尾矿，其铀品位与水冶厂尾渣相近。所以，当铀矿石的放射性显明度、粒度组成合适时，都应进行放射性分选。

（撰写：张登福 审订：夏润身）

youkuangshi fangshexing jianchazhan

铀矿石放射性检查站 radiometric check-point of uranium ore 利用铀矿石产生的γ射线将铀矿石分成不同品级产品的工业设施。送往放射性检查站检测的铀矿石是装在矿车或汽车中进行放射性测量的。测量的基础是基于铀矿石放射的γ射线活度与铀含量成正相关关系，然后按γ射线值将铀矿石分成不同品级的产品。放射性检查站按其安装位置分为井下和地表两种。井下检查站一般安装在各采矿层主要运输巷道的一端，而地表检查站设置于井口附近。检查站的任务之一是将采出矿石按铀品位分成可废弃的废石、直接送往水冶厂加工的富矿和送往放射性分选厂的合格矿石；任务之二是快速分析放射性分选厂的成品矿石、精矿和尾矿的铀品位，确定回收和丢弃的铀金属量以便计算金属平衡。

（撰写：张登福 审订：夏润身）

Y

youkuangshi fangshexing xianmingdu

铀矿石放射性显明度 radiometric contrast of uranium ore 铀矿物在铀矿石中嵌布的不均匀程度。它是铀矿石放射性分选中的术语，其差异与铀矿物的结构构造有关，其强弱与放射性分选的工艺指标有密切关系。铀矿石的放射性显明度是用自动品位分析仪测量铀矿块产生的γ射线放射性活度并经过统计计算后求得的。用不同评价方法得出的铀矿石放射性显明度指标如表所示。具有中等以上放射性显明度的铀矿石才适于进行放射性分选。

铀矿石放射性显明度分类表

显明度类型	品位变化系数 $V/\%$	可选性系数 M	显明度经济指标 P_{max}	自然对数标准差 δln
无显明度	0～40	0～0.4	1	0～0.4
弱显明度	40～130	0.4～0.8	1～1.1	0.4～1.0
中等显明度	130～350	0.8～1.1	1.1～1.3	1.0～1.6
强显明度	350～1000	1.1～1.45	1.3～1.5	1.6～2.2
特强显明度	>1000	1.45～2.0	1.5～2.0	>2.2

（撰写：张登福 审订：夏润身）

youkuangshi fuxuan fenzu

铀矿石浮选分组 split into components of uranium ore by flotation 用浮选法将铀矿石中的不同矿物组分进行分组，以利于下一步采取不同工艺处理的方法。铀矿石中含有不同的含铀矿物组分，如碳酸盐矿物和硅酸盐矿物。这样就可利用浮选法将它们分组，使不同类型的矿石用不同方法处理。如硅酸盐含铀矿石用酸法工艺；而碳酸盐含铀矿石则用碱法工艺。浮选分组也可用于除去耗酸或耗碱的杂质矿物成分，节约浸出剂，改善工艺效果。浮选分组还可用于铀与伴生金属的分组。如铀、金硫化矿的分组，铀、铜硫化矿的分组等。

（撰写：张登福 审订：夏润身）

youkuangshi jianzao

铀矿石建造 uranium ore formation 成分上稳定、空间上一起出现、形成于同一成矿作用过程中的铀矿物（元素）共生组合。铀矿石建造以该组合中的主导铀矿物或元素命名，如沥青铀矿建造，沥青铀矿—铀石建造，铀—钼建造和铀—锗建造等。铀矿石建造的类型受控于铀元素的地球化学性质和矿石形成的地质—物化条件。例如，高温的岩浆矿床和伟晶岩矿床上多出现晶质铀矿建造；火山岩型热液矿床上常见钛铀矿—沥青铀矿建造；砂岩型铀矿床上则常见沥青铀矿—铀石建造等。

（撰写：陈祖伊 审订：赵凤民）

youkuangshi kuangwu zuhe

铀矿石矿物组合 mineral association of uranium ore 对铀矿石矿物组合有二种理解。一种理解是狭义的铀矿物组合，是指同一成矿作用产生的、成分稳定的铀矿物有规律的组合。广义的铀矿石矿物组合可理解为同一成矿期（含几个成矿阶段）中几个铀矿物共生组合的集合体。同一个铀矿物组合中的几个铀矿物可以不是在同一性质的成矿作用中形成的。早阶段形成的铀矿物共生组合可被晚阶段的铀矿物共生组合所截穿或交代，但两者仍构成一定的矿物组合。铀矿石矿物组合的命名原则与铀矿石建造的命名原则相同，即以该组合中主导的铀矿物命名。

（撰写：陈祖伊 审订：赵凤民）

youkuangshi pinwei

铀矿石品位 grade of uranium ore 铀矿石中铀的百分含量。在中国、独联体国家和少数西方国家（如法国）铀矿石的品位都以%U（金属铀的百分含量）来表示，对于低品位矿石有时也用10^{-6}表示；大部分欧美国家则以$\%U_3O_8$表示（八氧化

三铀的百分含量)。两者之间的换算关系是 $1\%U_3O_8$=0.848 %U。

(撰写：陈祖伊 审订：赵凤民)

youkuangshi pinwei fenlei

铀矿石品位分类 classification of uranium ore grade 根据工业部门对矿产提出的矿石质量要求，铀矿石的品位分为工业品位和边界品位。铀的工业品位即铀在矿石中的含量达到铀工业可经济回采的最低品位。我国历来采用的是沿袭前苏联规范所规定的 0.05 % U。边界品位是铀储量计算中圈定矿体时用以区分铀矿石和围岩的最低品位界线，我国采用的是 0.03 %U。自从地浸技术开发砂岩铀矿床成功以后，可地浸砂岩铀矿石的边界品位降低到 0.01%U，并增设产矿率新指标，即以 1 kgU/m² 的等值线在平面上圈定铀矿体。

(撰写：陈祖伊 审订：赵凤民)

youkuangshi yuansu zuhe

铀矿石元素组合 element association of uranium ore 铀矿石中含量显著高出该类矿石主岩岩性的元素丰度值，有的甚至达到有可能作为副产品回收的元素与铀元素的组合。这些元素可以是与铀同时、在同一成矿作用中在主岩中富集的，也可以先于或晚于铀在主岩中聚集，且成因上与铀成矿作用无关。例如，岩浆型和伟晶岩型铀矿床的铀矿石中常见U–Th–REE组合，属于同一成矿作用中富集的铀矿石元素组合。我国湖南某矿床上的 U–Pb –Zn 组合则是二次成矿作用叠加的结果。

(撰写：陈祖伊 审订：赵凤民)

youkuangti

铀矿体 uranium ore body 赋存于地壳中、具有各种几何形态和产状的铀矿石天然聚集体。矿体是构成矿床的基本单位。铀矿体按其形态可分为等轴状、柱状和板状三个基本类型。铀矿体并不是任何铀矿化聚集体，而是根据当前国家规定的工业指标圈定出的、在当前国家工艺技术条件下能从中经济地回收铀（元素、化合物、矿物）的铀矿化聚集体。

(撰写：陈祖伊 审订：赵凤民)

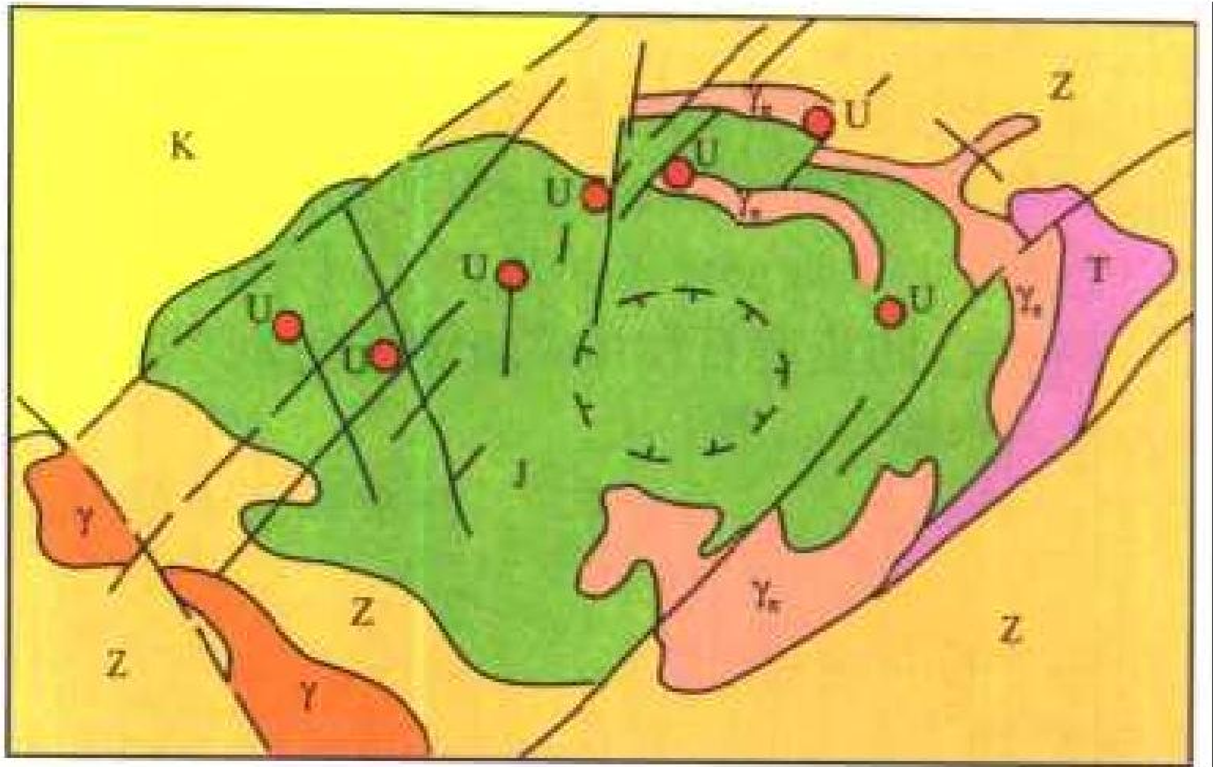
youkuangti quanding

铀矿体圈定 delineation of uranium ore bodies 铀矿体圈定有两种含义：(1) 通过地质研究和工程揭露，配合放射性地球物理和地球化学测量等手段，追索和查明铀矿体的形状、产状、空间分布特点及规模大小而进行的工作；(2) 在铀矿储量计算时，根据勘探工作所取得的资料，按照铀矿地质勘探规范，确定不同类型和开采、水冶技术条件的铀储量分布范围而进行的工作。

(撰写：赵凤民 审订：胡绍康)

youkuangtian

铀矿田 uranium ore field 具有良好的铀成矿条件和含矿性高的基本地质构造单元，在其范围内已探明几个、甚至几十个规模不同的铀矿床，探明的铀资源量一般在万吨以上，高者可达几十万吨，甚至更多。矿田的面积一般为几十平方公里到几百平方公里。矿田内的铀矿床多具相同的成因。例如我国相山铀矿田（见图），产于相山晚侏罗纪中酸性火山塌陷盆地内。盆地面积约 330 km²，铀矿床主要分布在盆地的北部与西部。铀矿化为热液型，受断裂构造控制。



相山铀矿田地质略图

K—砂砾岩；J—中酸性火山岩；T—砂砾岩，砂岩；Z—变质岩；γ—花岗岩；γ_π—次花岗斑岩；U—铀矿床

(撰写：赵凤民 审订：胡绍康)

youkuang wugui kaicai

铀矿无轨开采 trackless mining of uranium deposit 采、掘、运环节全部采用柴油或电力驱动的无轨自行式设备的一种铀矿开采方法。它是 20 世纪 60 年代发展起来的一门新的地下开采技术。它与传统的地下有轨开采相比，效率高、能力大、使用灵活、动力来源广泛，大大促进了矿山产量的提高，加快了矿山建设速度。无轨设备用于井下生产之后，给传统的开拓系统、采矿方法、通风防护、设备维护等带来了一系列变革。例如在开拓系统中广泛应用斜坡道，通风计算中一般以稀释柴油废气为计算依据，凿岩爆破参数得到了改善，采装尺寸普遍加大等，已经形成具有显著特点、比较系统的新的铀矿开采技术。铀矿在推广无轨开采技术后，采场生产能力提高了 3.3 倍，采掘直接工效提高了 2.8 倍，采矿损失率降低 75%，采矿贫化率降低 65 %，采矿成本降低 40 %。

(撰写：李开文 审订：周庆林)

you kuangwu

铀矿物 uranium minerals 铀的天然化合物。已发现的铀矿物有 180 多种。每种矿物都具有一定的化学组分、晶体结构和物理特性，有特定的地质形成条件。按化学组分铀矿物可分为四价铀矿物和铀酰矿物两大类。四价铀矿物可分为五个亚类：铀的简单氧化物、铀钼的复杂氧化物、铀钛铌钽的复杂氧化物、铀的硅酸盐、铀的磷酸盐。铀酰矿物可分为 11 个亚类：铀酰氢氧化物和铀酸盐、铀酰硅酸盐、铀酰磷酸盐、铀酰砷酸盐、铀酰钒酸盐、铀酰碳酸盐、铀酰硫酸盐、铀酰钼酸盐、铀酰亚硒酸盐、铀酰亚碲酸盐和铀酰复盐等。四价铀矿物为黑色、灰黑色、深褐色或暗绿色，具强放射性，为内生地质作用产物。铀酰矿物具鲜艳的黄色、黄绿色、翠绿色、红色、褐色等，大多数在紫外光照射下发不同强度的荧光，多形成于表生作用条件下，其中有些为近代地质作用产物，因而不具或只有很弱的放射性。

(撰写：赵凤民 审订：胡绍康)

you kuangye feiwu

铀矿冶废物 wastes from mining and milling of uranium ore 来自铀矿开采和铀矿石的加工、精制过程中产生的放射性废物。由于铀矿石的开采和加工对象是含天然铀的矿石，其放射性活度浓度很低，在开采和加工过程中应注意防止含铀的粉尘或气溶胶吸入体内，危害健康。铀矿石水冶产生的尾矿渣和废水中，除了残留的天然铀、镭外，通常还含有其他重

金属和酸／碱性废液，在生产过程中应予考虑。与其他核设施不同，铀矿冶设施产生的放射性固体废物数量很大，其放射性活度浓度则相对要低得多。一般把它们放置在废石场或尾矿库中处置，并采取必要的护坡、加固、覆盖、植被、防渗、排洪等措施，防止废石和尾矿渣流失，控制氡的释放，以免污染大气、水源和周围土壤。

（撰写：孙东辉　审订：王显德）

youlei pingheng xishu

铀镭平衡系数 uranium–radium equilibrium coefficient 矿石中镭（Ra）–铀（U）含量比同镭与铀处于放射性平衡时含量比（为一个常数：3.4×10^{-7}）的比值（K_p），用下式表示

$$K_p=\frac{[Ra]}{[U]}\times\frac{1}{3.4\times10^{-7}}\times100\%$$

在放射性平衡状态下，K_p=1；若放射性平衡偏镭，$K_p>1$；若偏铀，$K_p<1$。原生铀矿常处于放射平衡状态。由于镭与铀的地球化学特性不同，在表生带条件下，产生分离效应，导致在氧化带中平衡偏镭和在还原带与年轻的次生铀矿物中平衡偏铀。由于γ辐射测量所测的辐射强度主要是铀—镭系列中镭组核素衰变的贡献（占90％以上），放射平衡破坏导致测量结果比在平衡状态下偏高或偏低，后者在γ测井和γ取样中是确定铀矿体含量与厚度的依据。故必须根据地质条件确定实际铀镭平衡系数并进行修正，才能准确地确定矿体及其边界。（撰写：蒋永一　审订：李家俊）

youshi

铀石 coffinite 含水的铀硅酸盐，化学式为$U(SiO_4)_{1-x}(OH)_{4x}$。1995年发现于美国科罗拉多高原。四方晶系，晶体呈四方短柱状、针状或等轴状。集合体呈放射状、树枝状、球状，有时呈肾状、皮壳状。黑色到褐黑色，玻璃光泽到半金属光泽。结晶状的铀石透明，硬度3～6，相对密度4.39～5.10。折光率：N_g=1.731，N_p=1.725。铀石在强烈变生后为均质。反射率：7.0％～11.7％。铀石是常见的铀矿物，广泛发育于中低温内生热液铀矿床和外生砂岩型铀矿床中，与沥青铀矿、金属硫化物共生。（撰写：赵凤民　审订：胡绍康）

you shuzhi de jiexi

铀树脂的解吸 uranium resin desorption 又称铀树脂的淋洗。把交换吸附于树脂上的铀等特定离子用含有某种适宜离子的溶液将其交换到溶液中的过程。用作解吸的溶液称为解吸剂，解吸所得溶液称为解吸液，供下一步回收铀用。解吸后的树脂称为贫树脂，经水洗或必要的处理后返回吸附。从树脂上解吸硫酸铀酰络合物，常用的解吸剂为酸化硝酸铵、酸化氯化钠或硫酸溶液，其浓度均为1 mol/L左右；从树脂上解吸碳酸铀酰络合物，工业用解吸剂为含有少量$NaHCO_3$的60 g/L NaCl溶液。对于解吸能力强的解吸剂，在常温下解吸；对于解吸能力弱的硫酸，一般在30℃或更高些的温度下解吸。

（撰写：许根福　审订：关自斌）

you shuiyechang

铀水冶厂 uranium mill 以铀矿石为原料，采用湿法冶金工艺，生产铀化学浓缩物或核纯铀化合物的生产企业，以及以铀化学浓缩物为原料进行铀的纯化和精制，最后获得核纯铀化合物的企业。按水冶厂规模和类型可分为：靠近矿山就矿建厂的水冶厂；加工处理几个矿山、多种性质不同矿石的区域性水冶厂；设备能装车运走的移动式水冶厂等。用硫酸浸出法加工矿石的称酸法水冶厂；用碳酸盐浸出法加工矿石的称碱法水冶厂。常规铀水冶厂的主要生产工艺由破矿、磨矿、浸出、固液分离、离子交换或溶剂萃取、结晶沉淀、尾矿处置及废水处理等部分组成。为了尽可能降低铀水冶的加工成本，近年来地、堆浸与水冶技术的结合获得了较快发展。地、堆浸技术成本较低，但要求矿床和围岩具备一定的条件。因此，在确定工艺流程时，应统筹兼顾、慎重选择。

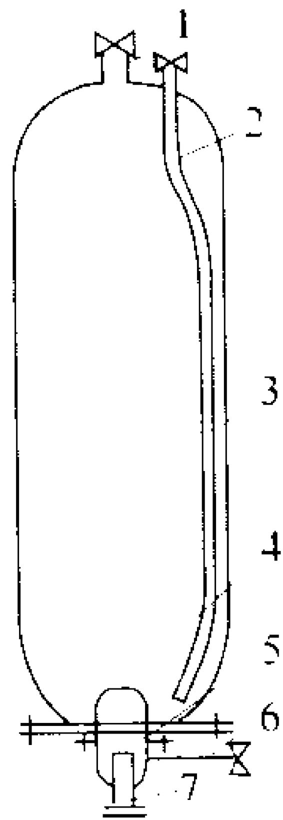
（撰写：王志章　审订：张登福）

you shuiyechang weikuang

铀水冶厂尾矿 uranium mill tailings 在铀水冶厂中，铀矿石经过水冶加工提铀之后的固体废渣。传统的采用破矿、磨矿工序的水冶厂，其尾矿固体颗粒为粒径小于1 mm的尾矿砂，其中粒径小于0.074 mm的约占40％～60％。最常用的处置方法是在厂区将尾矿与水冶过程产生的废液混合并加石灰乳中和后，以尾矿浆的形式排入尾矿库。也有采用浓密处置法或“干法”处置的。采用堆浸工艺的水冶厂，堆浸后的废渣通常称为堆浸渣。铀水冶尾矿中，不仅含有残留的放射性核素（铀、镭、钍等），而且还常含有非放射性的有毒、有害物质（镉、铬、砷、汞等），它们是水冶厂对环境的主要污染源。因此，应对铀水冶尾矿进行有计划的、安全可靠的处置。（撰写：王志章　审订：张登福）

youshuiyeyong gaoyafu

［铀水冶用］高压釜 autoclave [for uranium mill] 一种在加温、加压条件下进行化学反应的釜式设备。在铀水冶中应用的有机械搅拌釜和空气搅拌釜。可用蒸汽直接加热或夹套间接加热矿浆。机械搅拌高压釜多为卧式，圆筒形密封设备内部由隔板分成3个或4个室，各室上部相通。该设备操作稳定，缺点是占地面积大，搅拌部位的动密封技术要求高。空气搅拌高压釜按空气的混合方式分为带中心循环管的高压釜和装有空气旋涡哨的哨式釜。哨式釜（见图），矿浆自釜下端进入，与沿其垂直方向进入的压缩空气在哨腔内混合，并一起通过旋涡哨的喷嘴进入釜内。此时空气与矿浆的混合物呈紊流状态在釜内上升，从顶部出料管排出。哨式釜的优点是空气分散好，可以充分利用空气的氧化作用。其缺点是多台串联釜间压差大，管道磨损严重。（撰写：夏润身　审订：赵锡熊）



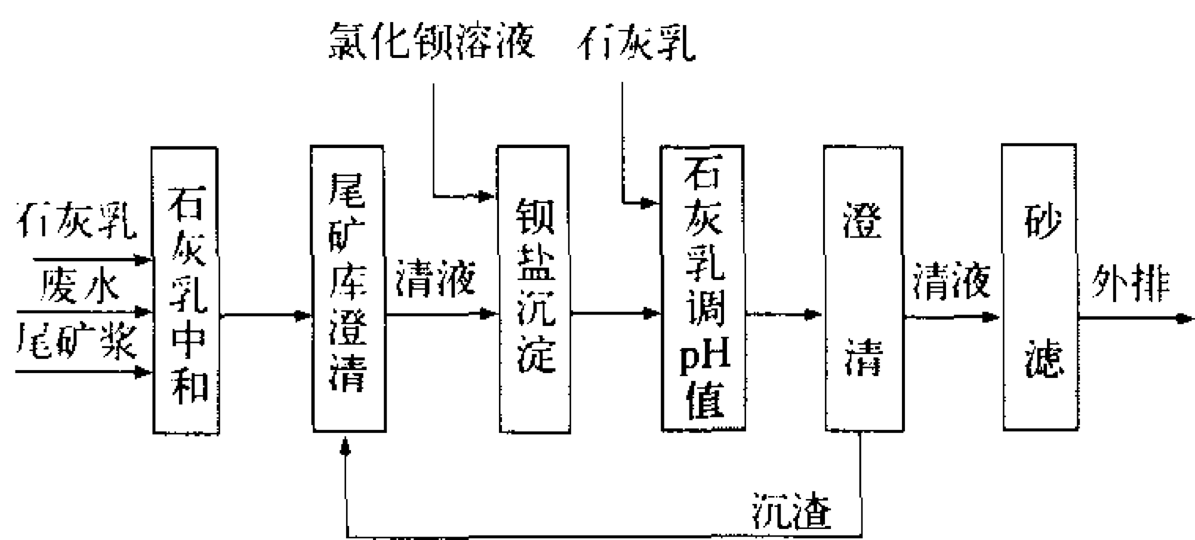
哨式加压釜

1—出料管；2—事故排料管；3—釜筒体；4—喷嘴；5—旋涡哨；6—空气管；7—进料管

youshuiyezhong de feishui chuli

铀水冶中的废水处理 waste water treatment in uranium mill 为使铀水冶过程中产生的废水水质达到返回水冶过程使用的要求或国家规定的排放标准而进行的净化过程。废水水质存在的主要问题是所含放射性核素（铀、镭、钍）超标，而且往往所含某些无机毒物（镉、铬、锰、砷、汞、氟等）及有机毒物（胺类和磷类萃取剂、煤油等）也超标。对酸法水冶厂废水，最常用的处理方法是：在送入尾矿库之前，先用石灰乳中和

处理，经在尾矿库内澄清之后，再采用钡盐沉淀法、软锰矿吸附法等，使水中镭含量达到国家规定的排放标准（见图）。



废水处理流程图

对外排废水中其他有害物质的处理方法有：化学沉淀或共沉淀法、离子交换吸附法、膜处理法（电渗析、反渗透等）、生化法等。 （撰写：王志章 审订：张登福）

you tongweisu fenli

铀同位素分离 uranium isotope separation 将铀元素中的 ^{235}U 的含量提高到所需丰度的过程。天然铀元素中含有 ^{234}U、^{235}U 和 ^{238}U。由于 ^{234}U 的含量很少，只含 0.0056 %，一般将分离天然铀作为两组分考虑。天然铀中 ^{235}U 的含量为 0.711 %。但是作为轻水堆的燃料 ^{235}U 的含量需达到 2.5 %～5 %，作为原子弹装料所用的铀 ^{235}U 的含量需达到 90 %以上。铀同位素分离是核燃料循环中非常重要的环节，也是国防建设中不可缺少的一个方面。分离铀同位素的方法很多，但是曾经是或今后可能达到工业生产规模的主要有气体扩散法、气体离心法、激光分离法等。

（撰写：应纯同 审订：刘广钧）

you tu banshengkuang feiwu

铀钍伴生矿废物 waste from uranium, thorium-containing mineral processing 铀、钍伴生矿物开采加工过程产生的废物。在自然界除了铀、钍矿外，有一些矿物伴生有少量的铀、钍元素，如稀土矿、磷酸盐矿、煤矿、石油等。在提取或利用了它们中有用的成分后，产生的废弃物中的放射性物质的含量可能达到或超过免管水平。与铀、钍矿冶废物相似，它们的放射性水平很低，但数量很大，如果处置不当，可能会对公众和环境造成一定程度的危害。铀钍伴生矿废物一般可以参照铀、钍矿冶废物进行管理，即分类存放、妥善处理。对尾矿渣要采用稳定化和隔离措施，防止废渣中的有害物质渗入地下水或随风和地表水迁移、污染水源和周围环境。

（撰写：孙东辉 审订：赵亚民）

you tu hunhe yanghuawu

铀钍混合氧化物 uranium–thorium mixed dioxide 由 UO_2 和 ThO_2 混合烧结制成的单相固溶体燃料，以 $(U,Th)\ O_2$ 表示。U-Th 混合氧化物含有易裂变核素 ^{235}U 和可转换核素 ^{232}Th，是钍铀循环高温气冷堆的重要燃料。一种典型的 $(U, Th)O_2$ 的主要物理性质列于表中。它的晶体结构与 UO_2、ThO_2 的相同，但它有更高的熔点和热导率，可在更高的温度和比功率下工作。在相同的功率下，燃料温度较低，裂变产物释放较少。它的化学稳定性也较好。$(U, Th)\ O_2$ 芯块的制造方法基本上和二氧化铀的相同，其燃料芯核的制造参见溶胶—凝胶工艺制备燃料芯核。

$(U,Th)\ O_2$ 的主要物理性质

晶体结构	密度 /$g\cdot cm^{-3}$	熔点 /K	比热容 /$J(kg\cdot K)^{-1}$	热导率 /$W/(m\cdot K)$ 773K	热导率 /$W/(m\cdot K)$ 1773K	热膨胀系数 /K^{-1} (1100～2400 K)
面心立方 (CaF_2 型)	10.18	3598 ± 50	314	5.2	4.0	12.5×10^{-6}

（撰写：邱学良 审订：李文埃）

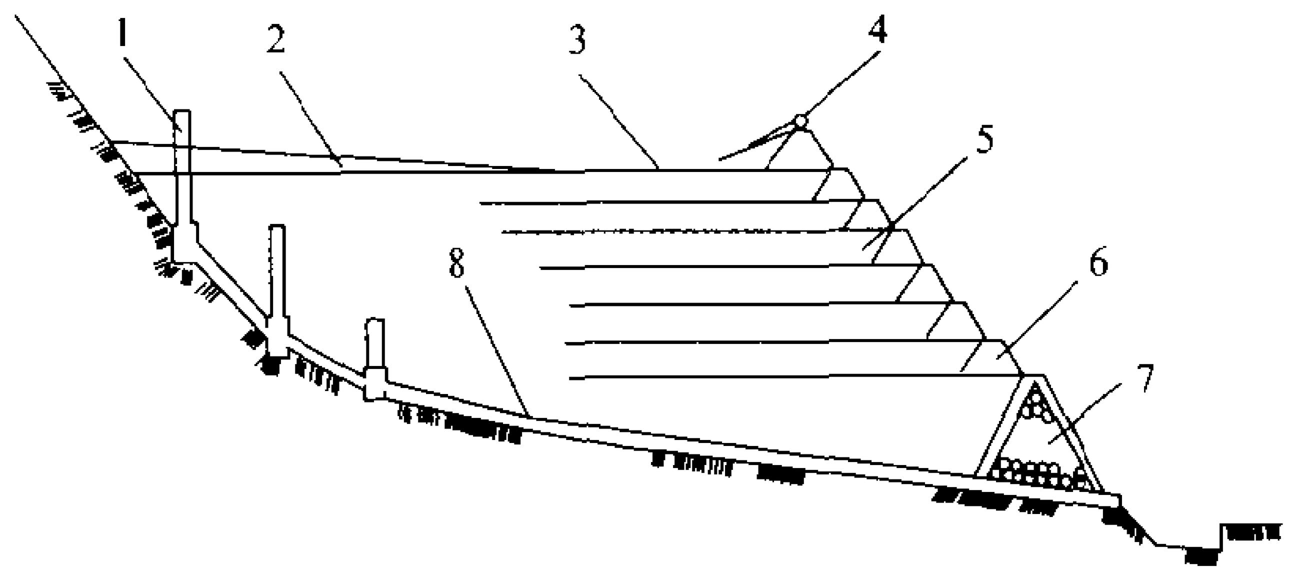
you weiduan

铀尾端 tail end process of uranium 在核燃料后处理流程中，经过主要化学分离后，对所得到的铀中间产品进行补充净化、浓缩，以及转化为最终产品形态的一整套工艺步骤。普雷克斯流程中经过萃取分离纯化后的硝酸铀酰溶液，如果未达到净化要求，一般采用硅胶吸附法进一步净化。纯化后的溶液再转化为最终产品 UO_2。转化方法分湿法和干法。湿法是选择一种沉淀剂，如碳酸铵或碳酸氢铵、草酸、过氧化氢等将铀从溶液中沉淀下来，再经过滤、洗涤、干燥，热分解为UO_2。工业生产多采用碳酸铵或碳酸氢铵作为沉淀剂。干法是先将硝酸铀酰溶液浓缩，而后脱硝还原为 UO_2。目前，国内外后处理厂多采用流化床脱硝还原法制备 UO_2。

（撰写：张先业 审订：朱永(贝睿)）

you weikuangku

铀尾矿库 uranium tailings impoundment 用于堆存铀水冶厂尾矿的专用设施。由于铀尾矿库堆存的铀尾矿量很大（一般为数十万吨至数千万吨），通常都建在铀水冶厂附近的天然谷地中，且尽量远离村镇和交通干线等。铀尾矿库通常包括有：初期坝、排水排洪系统、堆积坝、尾矿输送及排放管线和回水系统等（见图）。铀水冶厂投产之前，要先建初期坝和排水排洪系统。初期坝的坝型一般优先选用堆石透水坝，其次考虑土石组合坝或土坝。排水排洪系统一般为钢筋混凝土结构。当尾矿沉积体的滩面与初期坝顶齐平后，再用沉积的尾矿粗砂在坝顶处堆筑堆积子坝。经多次堆筑子坝，最终可筑成数十米高的堆积坝。回水系统的设置则根据水质和水量的要求而定。



铀尾矿库纵断面图

1—排水排洪井；2—沉淀池；3—沉积滩；4—尾矿浆排放管；5—堆积坝；6—堆积子坝；7—初期坝；8—排水排洪管道

（撰写：王志章 审订：张登福）

youxi

铀系 uranium series 又称铀镭系或 $4n+2$ 系。从 ^{238}U 到 ^{206}Pb，质量数按 $4n+2$（n 为正整数）规律变化的天然放射性衰变系。系中包括镭的最大半衰期（1600 a）同位素 ^{226}Ra。铀系的各代子体中比较重要的核素是 ^{226}Ra 和 ^{210}Po，是居里夫妇发现钋和镭的主要同位素，在放射化学史上起过重要的作用。铀系的衰变链如图所示。

铀系衰变链图

（撰写：张丕禄 审订：郭景儒）

youyanghuawu de fuhua

铀氧化物的氟化 fluorination of uranium oxide 利用 F_2 将铀氧化物直接氟化，使其转化为 UF_6 的工艺过程。铀氧化物的氟化可在卧式搅拌氟化反应器或流化床氟化反应器中进行。一种在卧式搅拌反应器中铀氧化物直接氟化的工艺流程如图所示。轻水堆 UO_2 乏燃料元件的氟化后处理流程，即采用 F_2 使 UO_2 转化为 UF_6。浓缩铀的纯化、冶金和氟化处理过程中产生的含铀固体废物中浓缩铀的回收，也采用铀氧化物直接氟化工艺，尽管要多消耗 F_2，但为提高贵重的浓缩铀的回收率、降低其损失，在经济上仍然是合理的。

铀氧化物直接氟化流程图

1—U_3O_8 料斗；2—卧式搅拌反应炉；3—渣罐；4—除尘器；5—电加热器；6—电机；7—变速器；8—一级冷凝器；9—二级冷凝器；10—三级冷凝器；11—钠石灰吸附器；12—风机

（撰写：崔秉懿 审订：朱永睿）

youyuanzi guangpu

铀原子光谱 uranium spectrum 铀原子外层电子跃迁时吸收或发射的光子频谱。铀原子光谱分布在很宽的范围内，可以从红外到紫外。迄今共发现30余万条铀原子光谱线，辨认出9万余条谱线，确认了12个电子构型，其中7个属于偶宇称，共1240个能级，5个属于奇宇称，共360个能级。铀原子光谱不但谱线多，分布范围广，而且对核子数为奇数的原子（如 ^{235}U），每条谱线还具有超精细结构，使其谱线更为复杂。铀原子的核外电子共有92个，其中86个构成稳定的内壳层，6个为外层电子；可表示为 [Rn] $5f^36d^17s^2$，属 L–S 偶合，其基态的光谱项为 $^5L^0_6$，电离限为 49958 cm^{-1}（即 6.19 eV）。铀原子光谱来源于其外层电子跃迁产生（见图）。

铀原子能级跃迁光谱示意图

铀原子光谱是激光分离铀同位素的基础，对于激光分离铀同位素电离路线的选择和分离模式的选取具有重要意义。

（撰写：王金月 审订：张志忠 应纯同）

youyuan

铀源 uranium source 在铀矿床形成过程中铀的来源。根据其形成的地质作用，铀矿床可分为内生铀矿床、外生铀矿床和变质铀矿床三大类。形成内生铀矿床的铀源有：上地幔及其衍生酸性岩浆；硅铝壳重熔岩浆及硅铝壳中的富铀地质体。外生铀矿床是外营力地质作用的产物。暴露地表或在含氧地下水作用范围内的酸性侵入岩和喷出岩中的铀以及富含炭质物沉积岩中的铀，常常是外生铀矿床中铀的主要来源。变质铀矿床的铀源则来自矿床中原来岩层的本身。

（撰写：胡绍康 审订：赵凤民）

youzaidiqiaodimanhedihezhong de fenbu

铀在地壳、地幔和地核中的分布 distribution of uranium in the Earth crust, mantle and core (nucleus) 地球由地壳（0～35 km）、地幔（35～2900 km）和地核（2900～6371 km）三个圈层组成。地球各圈层中的铀含量，除地壳的近地表部分可以直接取样确定外，其余各圈层中的铀含量均不能直接测

定，只能通过其与陨石以及从其他行星采集来的样品中的铀含量进行比较而间接确定。因此，地壳中的铀含量就是地壳各种岩石中铀的平均含量（2.5×10^{-6}），地幔的铀含量相当于石陨石中铀的丰度值（0.012×10^{-6}），地核的铀含量相当于铁陨石中铀的丰度值（0.003×10^{-6}）。

（撰写：胡绍康　审订：赵凤民）

youzaidiqiaozhong de cunzai xingshi

铀在地壳中的存在形式　forms of uranium occurrence in the Earth crust　铀在地壳中有三种存在形式：矿物形式、类质同象形式和吸附形式。目前在自然界已发现的铀矿物和含铀矿物近230种。铀还可以与钍、锆、钙、铈、钇、铌、钽等元素进行类质同象置换，进入这些元素的矿物晶格，如钍石、磷钇矿、锆石、烧绿石、层硅铈钛矿等。吸附形式是铀在地壳各种岩石和矿物中最普遍的一种存在形式，铀呈离子状态（UO_2^{2+}和络离子）被吸附在其他矿物或岩石的表面上。

（撰写：胡绍康　审订：赵凤民）

you zaixunhuan

铀再循环　uranium recycling　将从乏燃料中回收得到的铀在反应堆内再循环使用的过程。回收的铀经富集之后可制成轻水堆和高温气冷堆燃料，也可以不浓缩集制成重水堆燃料，快中子增殖堆增殖材料，或者按一定比例与PuO_2制成混合氧化物（MOX）燃料，用于轻水堆和快中子堆。再循环铀中还含有^{232}U，^{234}U，^{236}U和^{232}U的一系列子体，它们有强γ放射性，^{234}U和^{236}U对中子有很强的吸收能力，所以，给燃料的再制造和使用带来一定的麻烦。尽管如此，英国、日本、比利时等国都已成功地实现了工业规模的铀再循环。

（撰写：张先业　审订：朱永睿）

youziyuan

铀资源　uranium resource　天然赋存于地壳内或地壳上的铀的富集体。就其形态和数量而言，在当前或可以预见的将来，它们能成为经济上和技术上可以开采和提取的铀矿产品。由此可见，铀资源既是一个自然概念，又是一个经济概念；铀资源不但指已知的，而且包含未发现的；铀资源既指现在可以开发的，也包含由于可预见的经济技术进步在将来可以开发的。因而出现了"未发现资源"或"预测资源"等概念。

（撰写：胡绍康　审订：赵凤民）

youziyuan fenlei

铀资源分类　classification of uranium resources　国际原子能机构将铀资源按其不同的可靠性程度分成不同的类别：可靠资源（Reasonably Assured Resources, RAR），估算的附加资源－Ⅰ类（Estimated Additional Resources Category Ⅰ EAR-I），估算的附加资源－Ⅱ类 Estimated Additional Resources Category Ⅱ，EAR－Ⅱ）和推测资源。这些铀资源又按每千克铀生产成本分成4种级别：\$40或更低，\$40～\$80，\$80～\$130和\$130～\$260。铀资源不同类别之间的相互关系如表所示。其横轴表示以不同程度的地质认识为根据的现有已知资源数量的可靠程度，纵轴则表示按成本级别划分的开采的经济可行性。左下方成本为\$80/kgU或更低的可靠资源和估算附加资源-I占有突出的重要位置，因为这些资源是全球大多数已有的和在建的生产中心的原料来源。在现行市场价格上可靠资源通常被定为"储量"。

铀资源分类表

经济效益降低（纵轴）；评估值的可靠程度降低（横轴）

回收的成本级别				
\$130～\$260/kgU	可靠铀资源	估算的附加资源－Ⅰ	估算的附加资源－Ⅱ	推测资源
\$80～\$130/kgU	可靠铀资源	估算的附加资源－Ⅰ	估算的附加资源－Ⅱ	
\$40～\$80/kgU	可靠铀资源	估算的附加资源－Ⅰ	估算的附加资源－Ⅱ	推测资源
\$40/kgU或更低	可靠铀资源	估算的附加资源－Ⅰ	估算的附加资源－Ⅱ	

（撰写：胡绍康　审订：赵凤民）

youli yeti

游离液体　free liquid　不为固体基质所束缚的未结合的液体。它是表征废物体或废物包性能的一种指标，用质量分数或体积分数表示。水泥固化放射性废液，聚合物固化废树脂时，由于配方的原因，在固化体表面或固化体和容器之间会出现或多或少的游离液体。在水泥固化时，这种液体也称泌出水，但它在一定时间内被水泥固化体吸收而消失；在聚合物固化时，这种游离液体很难再进入聚合物固化体中。因而对聚合物固化来说要求不出现游离液体，以便后续的安全贮存、运输和处置。密闭容器中游离液体的测定，可以采用超声测量法或者层析X射线摄影法。我国在废物固化体、固体废物包装、固体废物暂时贮存和放射性废物的近地表处置等标准中都作出规定，游离液体应小于1%。

（撰写：范显华　审订：曾继述）

youji feiwu

有机废物　organic waste　主要成分为有机化合物的放射性废物。通常指废离子交换树脂、废磷酸三丁酯（TBP）等有机萃取剂、废CCl_4、废润滑油、废机油、废闪烁液等。它们主要来自乏燃料后处理厂、核武器加工装配车间、核电厂和核技术研究单位等。有机废物易着火，在强辐照场中是不稳定的，长期存放可能发生降解，产生燃爆性气体，对处理、贮存、运输和处置的安全构成一定威胁。通常用热解焚烧、湿法氧化等方法处理。

（撰写：孙东辉　审订：王显德）

youjirongji jiangjie

有机溶剂降解　degradation of organic solvent　有机溶剂在化学试剂或电离辐射作用下有机分子的键断裂并进一步反应的过程。通常表现为脱氢、氧化、硝化生成双键及聚合等。降解产物分子可大于也可小于原溶剂分子。在后处理工艺中，磷酸三丁酯在萃取过程中，经受着硝酸作用下的水解和α，β，γ电离辐射而分解成磷酸一丁酯、磷酸二丁酯、聚合物和磷酸以及氢、甲烷、丙烷、乙烯、丁烷和丁烯等气体降解产物。稀释剂在萃取过程中同样受到一系列的化学和辐照作用，而降解生成酮、烷基酸、硝基化合物、长链酯、聚合物等降解产物。

Y

有机溶剂降解严重时会产生界面污物，使铀、钚产品流失以及对裂变产物的净化急剧下降，甚至会使萃取操作无法进行。

（撰写：胡景炘　审订：朱永𬭚）

youji shanshuoti

有机闪烁体　organic scintillator　一种由有机物质组成的闪烁体。它可简单地分成三类：(1) 有机晶体闪烁体，大多是属于苯环结构的芳香族碳氢化合物，如蒽、芪、萘、菲、联三苯、对联三苯、对联四苯、二苯乙炔、二苯基丁二烯等，它们除常以单晶形态应用外，也以多晶和混晶形态使用。蒽晶体是有机闪烁体中发光效率最高的闪烁体，广泛用做标准来比较其他闪烁体的发光效率。(2) 液体闪烁体，是几种有机化合物的混合液（参见液体闪烁体）。(3) 塑料闪烁体，它是有机闪烁物质在塑料中的固溶体（参见塑料闪烁体）。有机闪烁体的最主要特点是：闪烁衰减时间短，约为 $10^{-8}\sim10^{-9}$s 量级，含氢多，可探测快中子，耐辐照性能好。和无机闪烁体相比，其能量转换效率较低，能量分辨率较差，对γ的探测效率低。有机闪烁体广泛应用于探测电离作用强的粒子及β射线，以及需提供快时间信号的射线探测场合。

（撰写：汲长松　审订：彭华寿）

youjixiang baohedu

有机相饱和度　saturation level of organic phase　溶剂萃取过程中待萃取物质（如金属离子）被萃取到有机相中的实际量与按化学反应式计算应被萃取的理论量之比值。它表示萃取剂的利用程度，用百分率表示。提高饱和度可以减少萃取剂的损耗，提高产品纯度。按化学反应式计算所得待萃取物质应被萃取的量称为该物质在有机相中的理论饱和容量，而按实验方法绘制的萃取平衡曲线所得最大被萃取量为该物质的实际饱和容量。实际饱和容量由于受到同名离子的竞争和萃取剂空间位阻等因素的影响，其数值往往小于理论饱和容量。实际生产中由操作线来确定的待萃取物质的容量称为操作容量。为便于操作控制，操作容量经常取实际饱和容量的 80 %～90 %。饱和容量和操作容量均以单位体积有机相中被萃取物质的质量来表示。

（撰写：程光荣　审订：牛玉清）

youjiebo xing dianci maichong moniqi

有界波型电磁脉冲模拟器　electromagnetic pulse boundary wave type simulator　产生模拟核电磁脉冲的设备。用于对电子系统（设备）、半导体电路（器件）进行核电磁脉冲辐射效应实验的设备。所谓有界波型，系指电磁场限制在一定空间范围内，以便受试的电子设备（器件）放置于此空间内进行辐射效应的测试。模拟器系在二个平行金属板或平行的金属丝和金属地板之间加上数百千伏的脉冲高压形成垂直分布的类似核电磁脉冲（NEMP）电磁场的工作区。工作区的两端为锥形过渡区（见图 1）。为了模拟核电磁脉冲的波形，高压发生器加上峰化电容器进行整形，终端加匹配电阻（约为 100 Ω），以免产生驻波。工作室的空间尺寸根据受试设备的大小确定。如中国工程物理研究院的一台设备的工作空间为长×宽×高 =3 m × 2 m × 2 m。受试设备一般应小于此空间的 1/3，放置于木制的桌上。为了防止测试设备及电缆受工作区的强电磁场的干扰，测试设备置于地下作为屏蔽，而信号电缆从工作区引出时也需要采取抗电磁干扰措施或采用光纤传输。中国工程物理研究院的有界波型电磁脉冲模拟器的结构如图 1 所示，其高压脉冲发生器及峰化电路、锥形过渡区外貌如图 2 所示。

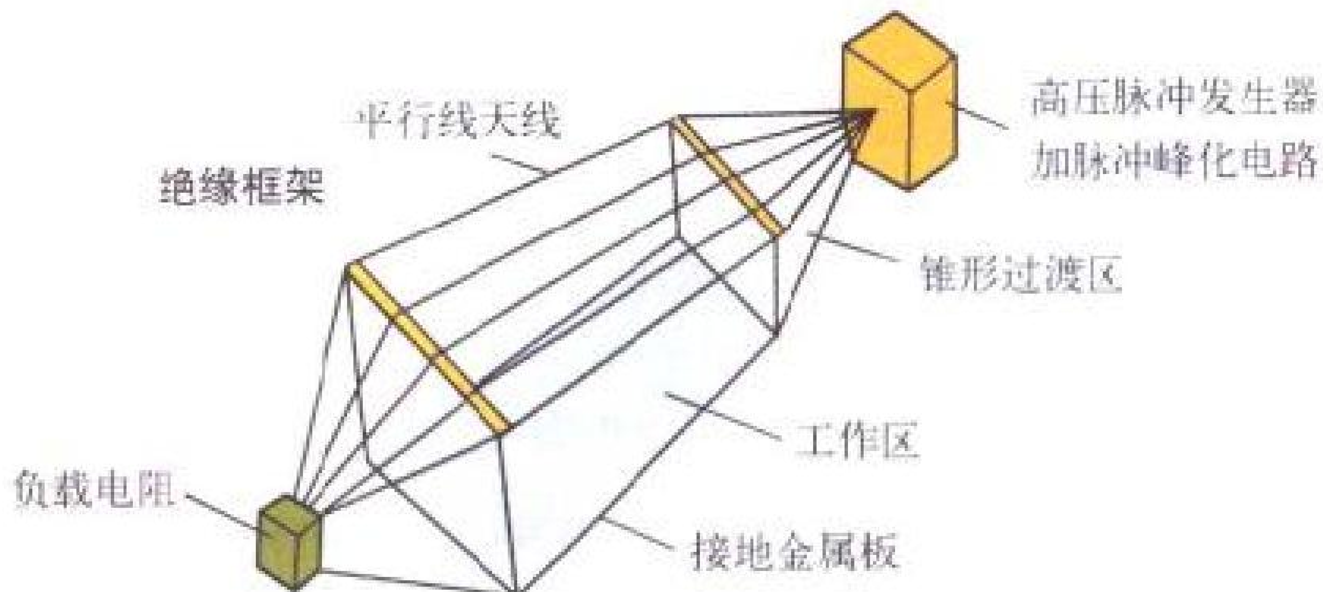


图 1　有界波型电磁脉冲模拟器示意图


图 2　电磁脉冲模拟器的高压发生器及峰化电路和锥形过渡区的外貌

（撰写：赖祖武　审订：郑绍唐）

youxian cangmianqu

有限舱面区　defined deck area　船舶的露天甲板、滚装船、集装箱船或渡船的可停放车辆的甲板，指定堆放放射性物质的区域。　（撰写：董柳灿　审订：赵亚民）

youxianyuan moshi

有限源模式　finite source model　一种用于计算离排放点近距离处放射性烟羽的浸没外照射的模式。这时空气中放射性核素的浓度分布参数（σ_y,σ_z）与γ射线在空气中的线性衰减系数不满足 $(\sigma_y,\sigma_z)^{1/2} >> 1/\mu$ 条件，不能视为达到辐射平衡，这种源称为有限分布源。这时就要采用复杂的计算方法，将放射性烟羽分成大量的小体积元，每个小体积元视为放射性点源；将各点源对受照者的照射剂量积分即得到受照者在有限分布源照射情况下的照射剂量率 $\dot{D}_\gamma$

$$\dot{D}_\gamma = k\int c(x,y,z,t)\ \mathrm{d}V\ \frac{\mu_a}{\rho}\ \frac{\overline{E}_r}{4\pi r^2}\ Be^{-\mu r}$$

式中 $\dot{D}_\gamma$ 为γ射线的浸没照射剂量率（Gy/s）；k 为量纲转换常数；μ_a/ρ 为γ射线在空气中的质量能量吸收系数（m^2/kg）；μ 为γ射线在空气中的线性衰减系数（m^{-1}）；B 为累积因子；r 为计算体元至受照点的距离（m）；C 为放射性核素在空气中的浓度（Bq/m^3）；这种计算模式称为有限源模式。

（撰写：张永兴　审订：陈竹舟）

youxiao dianheshu Z_{eff}

有效电荷数Z_{eff}　effective charge number　见等离子体辐射。

youxiao jiliang

有效剂量　effective dose（E）　当所考虑的效应是随机性效

应时，在全身受到不均匀照射的情况下，人体所有组织或器官的加权后的当量剂量之和，即

$$E=\sum W_T H_T$$

式中 H_T 为组织或器官 T 所受的当量剂量，W_T 为组织或器官 T 的权重因子。有效剂量单位为焦耳每千克（$J\cdot kg^{-1}$），专用单位名称为希沃特（Sv）。有效剂量也可表示为身体各组织或器官的双重加权的吸收剂量之和。

（撰写：董柳灿　审订：潘自强）

youxiao jiliang fudan

有效剂量负担　effective dose commitment (E_c)　对指定的群体来说,由于某一涉及照射危险的特定事件、决策或实践所产生的在时间上持续进行的照射，平均每人所受的有效剂量率 $\dot{E}$ 在无限长时间内的积分，即

$$E_c=\int_0^{\infty}\dot{E}(t)\mathrm{d}t$$

有效剂量负担单位为焦耳每千克（$J\cdot kg^{-1}$），专用单位名称为希沃特（Sv）。　（撰写：董柳灿　审订：潘自强）

youxiao paifang gaodu

有效排放高度　effective release height　经有关影响因子修正后用于估算地面浓度的污染物排放视在高度。污染物废气释入大气后的短时内经历多种与大气相互作用的初始过程，如建筑物和地形对气流的扰动影响，高风速时在烟囱口附近流场变形引起的下洗，以及废气排出的初始速度产生的动力抬升和与周围空气温差形成的浮力抬升等。这些作用使污染物烟羽距地面的平均高度异于其实际排放高度。通常将有效排放高度表达成烟囱几何高度与各种抬升与下沉效应的代数和 $h=h_s+\Delta h$，修正项 Δh 统称为抬升高度。一特定排放源下风向地面浓度随烟羽高度增加而快速减小，有效排放高度是估算地面浓度的敏感参数，它的确定是为了获得烟羽平均高度的正确值。决定排放高度修正项 Δh 大小的因子包括：污染物烟气的温度、排放速度、环境风速、大气温度层结、排放口及附近建筑物和地形的尺度和位置搭配等。实际应用中往往采用有一定理论或概念依据的经验或半经验公式进行估算（参见高架排放、地面排放）。

（撰写：蔡旭晖　审订：陈家宜）

youxiao qianke

有效千克　effective kilogram (ekg)　对核材料进行保障监督并反映其战略价值时使用的专用单位。各种核材料的有效千克按下列方法计算：(1) 对于钚，以千克为单位的钚的质量；(2) 对于 ^{235}U 丰度不小于 1% 的铀，以千克为单位的质量乘以其丰度的平方；(3) 对于 ^{235}U 丰度低于 1% 但高于 0.5 % 的铀，以千克为单位的质量乘以 0.0001；(4) 对于 ^{235}U 丰度不大于 0.5 % 的贫化铀及钍，以千克为单位的质量乘以 0.00005。

（撰写：刘大鸣　审订：严叔衡）

youxiao zhongzi zengzhi yinzi

有效中子增殖因子　effective neutron multiplication factor　在有限介质内中子增殖过程中第二代中子数与第一代中子数之比。无限介质中子增殖因子乘以不泄漏概率 P 即为有效中子增殖因子 $k_{eff}=Pk_{\infty}$。实际反应堆的体积总是有限的，存在泄漏。要减少中子泄漏损失的比例，就要增加反应堆尺寸，即减小反应堆的面积与体积之比。临界大小就是使不泄漏概率的数值恰好使 $k_{eff}=1$ 时的反应堆尺寸。如果 $k_{eff}>1$，则反应堆处于超临界状态；反应堆裂变率和功率都将不断增加；如果 $k_{eff}<1$，反应堆就处于次临界，其裂变率和功率都将不断减小直至本底。

（撰写：史永谦　审订：罗璋琳　许汉铭）

youzuzhi de kongzhi

有组织的控制　institutional control　依据国家法律指定的政府部门或机构对场址（如废物处置场址和退役设施场址）的控制。这种控制可以是主动的（监督、监测、维护）或被动的（土地使用）控制。从事放射性物质操作的设施在运行期间会产生放射性废物，并可能对周围环境（土壤、地表水、地下水、植被等）造成污染。这些设施在停止运行或退役后仍有可能在场址和周围环境留下部分有害物质，它们在相当长一段时间内仍会对人类和环境造成潜在的危害。为了防止危害的发生，有必要对这些场址实施有组织的控制：防止人员闯入、防止对废物的侵扰、对废物处置或隔离系统进行维护、对环境进行监测和控制土地使用等，直至场址上残留有害物的潜在危害降低到国家规定的要求后，才能取消有组织的控制，实现场址无限制开放和使用。

（撰写：孙东辉　审订：王显德）

youzuzhi paifang

有组织排放　institutional release　气载放射性或液载放射性物质（有计划）有控制，按审管部门批准的条件和数量向环境排放的行为。有计划指把排放归入实践中的一部分，什么时间排放，如何排放事先均有安排；有控制指对排放行为设有监控措施，如监测排放物放射性浓度，排放速率，排放物理化性质等，且当发现排放不符合审管要求时可以阻断排放活动，审管批准指这种排放活动是一种放射性废物的处置行为，排入环境后，再就难以收回或无法收回。因此审管部门需认真评价环境后果后才可以批准，而且这种批准总是附有一些安全保障条件。有组织排放是经严格的审评，对环境的安全有保障的排放，因而有助于消除公众对核设施排放的疑虑和担心。有组织排放的核素数量，总量以及排放条件均要详细记录和保存。

（撰写：赵亚民　审订：潘自强）

yure

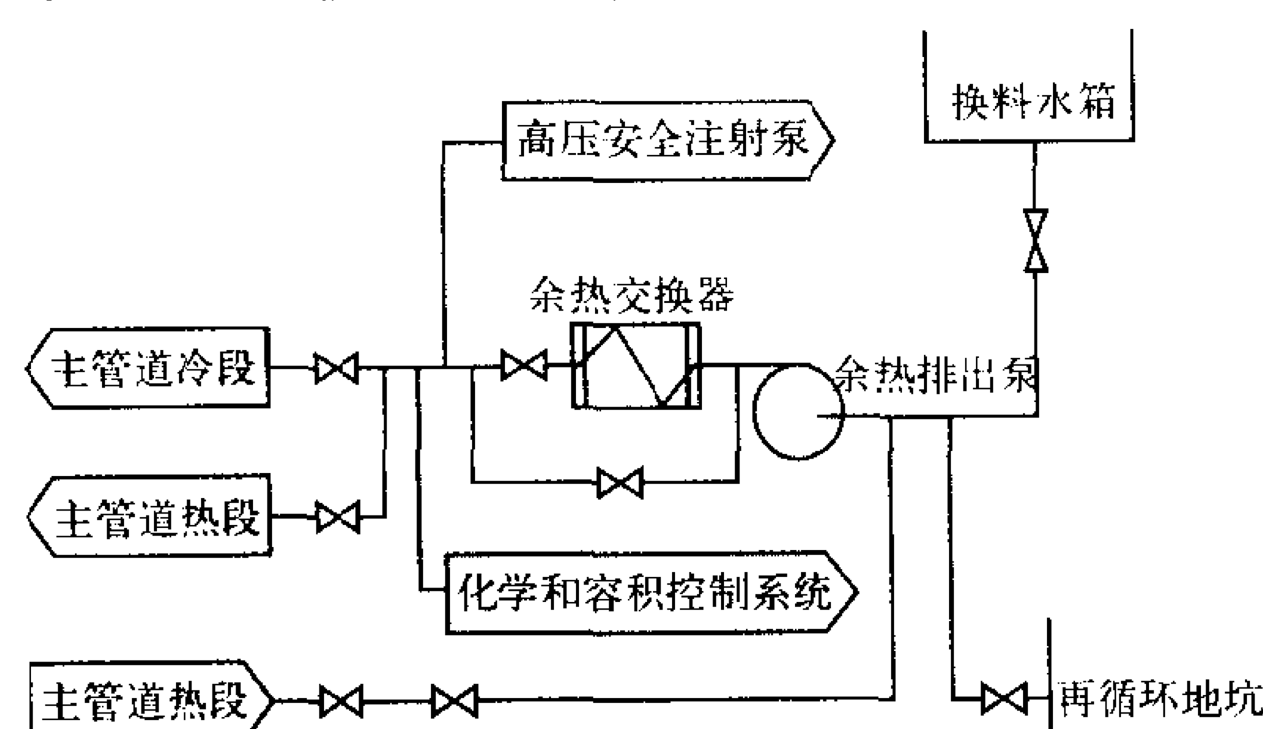
余热　residual heat　停堆后反应堆内残存的总热量，包括剩余释热和显热，剩余释热是由残余放射性和残余裂变所产生的热量，它是余热中的主要部分（参见剩余释热）；显热是堆内各部件由于温度较高而残存的热量，是余热中的小部分。

（撰写：何可学　审订：陈叔平）

yure paichu xitong

余热排出系统　residual hecat removal system (RHRS)　又称停堆冷却系统。正常停堆时排出堆芯余热的系统。压水堆核电厂余热排出系统的主要功能为：（1）在反应堆正常冷停堆的第二阶段，即当反应堆冷却剂系统的压力和温度分别达 2.5～3.0 MPa 和 175～180 ℃时，把停堆后的堆芯剩余释热以及系统内介质和设备的显热，通过设备冷却水系统传输至最终热阱，使反应堆冷却剂温度以一定的速率降低至冷停堆或换料操作的温度，并继续保持此温度；（2）失水事故时，兼作低压安全注射分系统，将换料水箱内的含硼水或安全壳

再循环地坑内的水，注入堆芯（参见安全注射系统）；(3) 在反应堆换料期间，余热排出泵兼作换料水输送泵。本系统通常设置两个相互独立、分隔的系列。每个系列各有一台余热排出泵和余热交换器（见图）。



余热排出系统示意图

（撰写：戚正文　审订：张维忠）

yucheng

宇称　parity　见对称性。

yucheng bushouheng

宇称不守恒　parity nonconservation　见守恒律。

yuzhou huaxue

宇宙化学　cosmo chemistry　研究有关宇宙的化学，从化学过程考察元素的起源、太阳系的起源以及生命的起源。在20世纪40年代，W.C.尤里从事宇宙化学方面的研究。1947年他提出用^{18}O方法测定古海洋的温度。在研究了地球、陨石、太阳及其他恒星的元素和同位素丰度后，于1952年第一次发表了元素宇宙丰度的数据，发展了元素起源和宇宙学理论，在《行星的起源和演化》一书中提出从化学过程考虑的太阳系起源学说。1953年S. L. 米勒根据尤里的理论，在芝加哥大学实验室里模拟原始地球大气的成分和条件，在甲烷、氨、氢气和水的混合物中连续火花放电一周，合成11种氨基酸。这就是米勒—尤里实验，为生命起源的研究开拓了新的途径。

（撰写：郭正谊　修订：罗文宗　审订：崔安智）

yufangxing xingdongqu

预防性行动区　precautionary action zone　在某些核设施（主要是核电站）建立的预先计划采取紧急防护行动，并在宣布进入总体应急时立即实施紧急防护行动的区域。这是国际原子能机构目前推荐的新的应急计划区类别中的一种。该区的目标是在放射性物质释放之前采取防护行动（属预防性防护行动）以显著降低确定性健康效应的风险。

（撰写：陈竹舟　审订：施仲齐）

yuguolüqi

预过滤器　prefilter　安装在高效微粒空气过滤器前面的过滤器。其作用是保护高效微粒空气过滤器不受高浓度灰尘或其他不良环境条件的损害。预过滤器对于微米级及大于微米级的灰尘颗粒或纤维具有很高的捕集效率，而对于亚微米级的较小颗粒捕集效率很低。预过滤器通常采用洁净技术中使用的中效、亚高效过滤器。其滤材一般采用细孔泡沫塑料、玻璃纤维及无纺布等，通常是格栅型结构。

（撰写：刘春秀　审订：贾　明）

yujijiliang kefangzhijiliang shengyujiliang

预计剂量，可防止剂量，剩余剂量　projected dose (PD), avertable dose (AD), residual dose (RD)　在干预中使用的3个专门概念。预计剂量（简写PD）系指发生某一事故时在不考虑采取可能的防护行动情况下估计每一照射途径对处于危险的居民产生的剂量。可防止剂量（简写AD）系指对每一照射途径因实施某项防护行动所减少的剂量。剩余剂量（简写RD）系指实施某项防护行动后针对每一照射途径遗留的剂量（预计

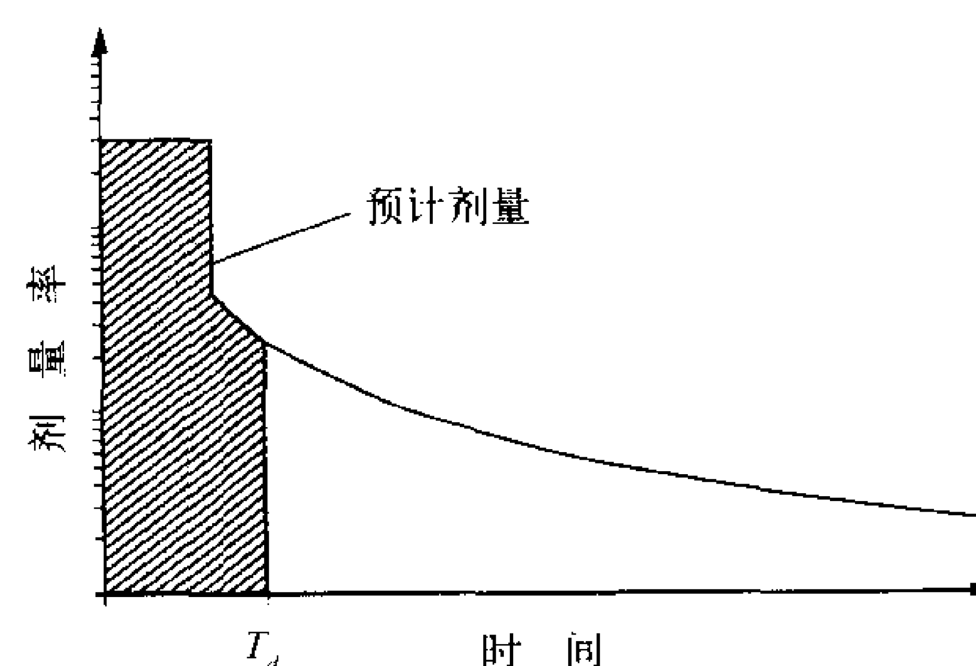


图1　预计剂量概念的图形表示

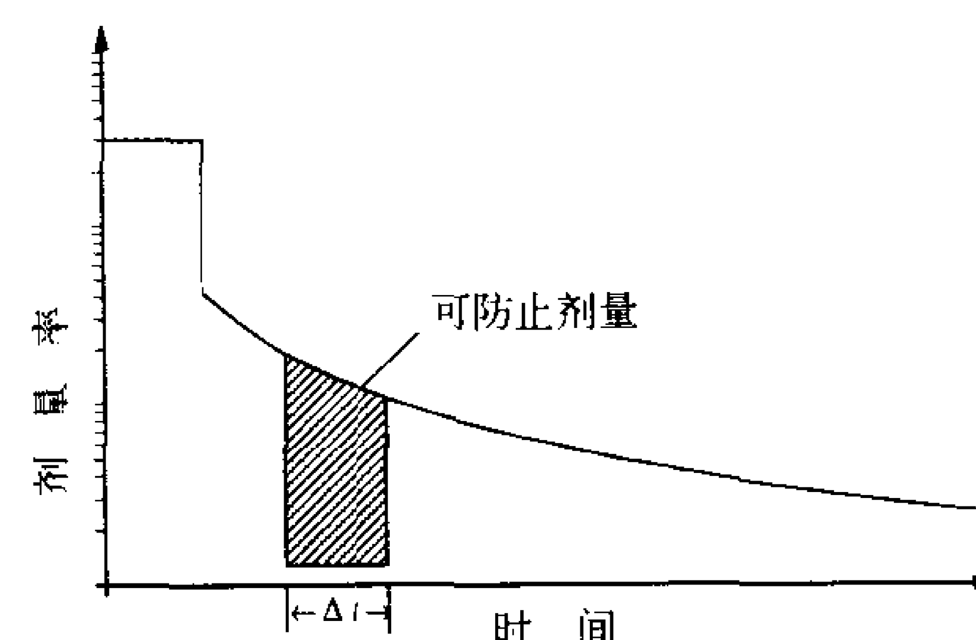


图2　可防止剂量概念的图形表示

剂量减去可防止剂量，即RD=PD − AD）。预计剂量、可防止剂量的概念可分别用图1及图2表示。图1中的T_d是指所受到的剂量限于在生物学上有重要性的某个时间段。图2中的Δt是防护行动的持续时间。（撰写：施仲齐　审订：陈竹舟）

yuji yunxing shijian

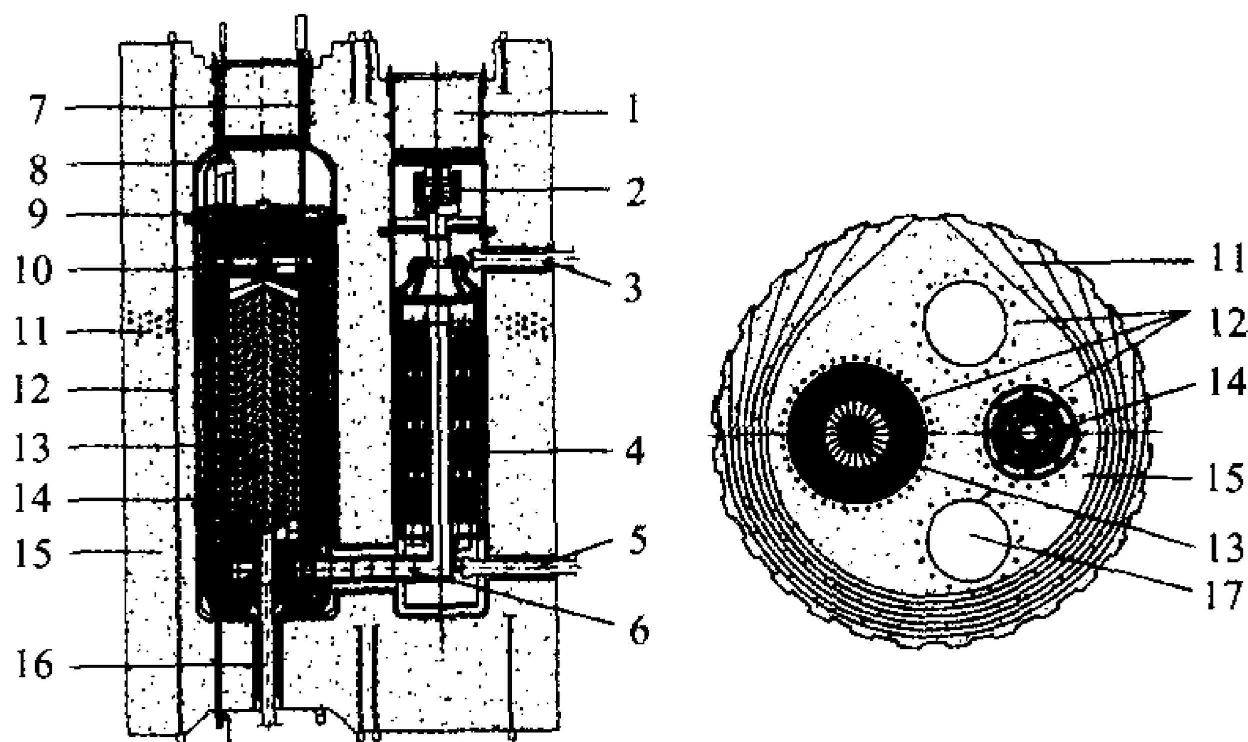
预计运行事件　anticipated operational occurrence　又称中等频率事件。在核设施的运行寿期内预期可能发生一次或数次的偏离正常运行的工况。在发生这类事件情况下，当核设施的运行参数达到规定限值时，保护系统应能关闭反应堆，但在进行了必须的校正动作后，反应堆可重新投入运行。由于在核设施的设计中，已采取了相应措施，这类事件不会导致后果更严重的事件。在压水堆核电厂，这类事件的例子有：汽轮机停车，主泵失去电源及稳压器安全阀误开等。预计运行事件的接收准则为：(1) 反应堆冷却剂系统的压力小于110 %设计值；(2) 燃料元件包壳表面不发生偏离泡核沸腾；(3) 放射性释放低于正常运行限值。

（撰写：俞尔俊　审订：董柏年）

yuyingli hunningtu fanyingdui yali rongqi

预应力混凝土反应堆压力容器　prestressed concrete reactor pressure vessel　采用预应力混凝土结构的反应堆压力容器（见图）。它的结构包括隔热层、钢衬里及其冷却水系统、预应力系统、钢筋混凝土结构以及贯穿件等部分。隔热层用来减小压力容器内部向容器壁面的传热。钢衬里起着密封作用，它锚固于混凝土容器壁的内表面。钢衬里的内表面固定隔热层，外表面焊有冷却系统的水冷管。预应力系统对混凝土结

构施加预压应力。当压力容器内部充压时，在混凝土壁内产生的拉应力抵消一部分预压应力，但混凝土结构整体仍保持在压应力状态，以保证结构的完整性不受破坏。贯穿件包括电气贯穿件和机械（包括管道、部件等）贯穿件两类。贯穿件结构连接压力容器内侧的钢衬里，向外直至容器的外表面，贯穿整个容器壁。预应力混凝土压力容器在工程施工现场进



200 MW 模块式高温气冷堆及其预应力混凝土压力容器示意图

1—蒸汽发生器顶盖；2—冷却气体循环风机；3—蒸汽管贯穿口；4—蒸汽发生器传热管；5—给水管贯穿口；6—热气导管；7—控制棒贯穿孔；8—隔热层；9—燃料球进球管；10—钢衬里与水冷管；11—环向预应力束；12—纵向预应力束；13—堆芯；14—石墨反射层；15—混凝土容器壁；16—燃料球卸球管；17—贮气罐

行整体安装和施工。这种压力容器不会发生钢制压力容器可能出现的脆性失效（爆破）事故。

（撰写：何树延　审订：张振声）

yutanceqifa

阈探测器法　threshold detector method　许多核素只有在入射粒子，如中子或带电粒子等的能量超过一定阈值时才能发生反应。利用这一特性选取具有不同阈值的样品作为系列阈探测器来探测入射粒子的能谱。这种方法称为阈探测器法。附表是用以探测快中子能谱的一组阈探测器及有关特性。这些阈探测器在中子场进行照射后，测量其剩余核的活性，通过适当的数据处理可获得此中子场的中子能谱数据。阈探测器具有对强γ射线本底和阈下中子本底不灵敏、探测器体积小等优点，因而阈探测器法是反应堆中子能谱测量的主要方法之一，实际应用比较普遍。

用以探测快中子能谱的一组阈探测器及有关特性表

样品及核反应	半衰期	γ射线能量 /MeV	同位素丰度 /%	γ射线分支比 /%	有效阈能 /MeV
$^{237}Np(n, f)$		100		0.65	
$^{115}In(n, n')^{115m}In$	4.50 h	0.325	95.72	45	1.6
$^{58}Ni(n, p)^{58m+g}Co$	71.3 d	0.810	67.88	99	2.7
$^{47}Ti(n, p)^{47}Sc$	3.4 d	0.160	7.28	73	3.0
$^{54}Fe(n, p)^{54}Mn$	312.5 d	0.830	5.82	100	4.0
$^{24}Mg(n, p)^{24}Na$	15 h	1.370	78.99	100	6.5
$^{27}Al(n, \alpha)^{24}Na$	15 h	1.370	100	100	8.0

（撰写：丁声耀　审订：容超凡）

yuandi baopo jinchu caiyou

原地爆破浸出采铀　leaching uranium from in-place blasted ore　铀矿地下开采中通过爆破将采场内矿石破碎到一定块度，在原地用事先配制的溶浸液对矿石进行喷淋，再将所形成的浸出液送地面进行水冶处理的采铀方法。它集采、选、冶于一体，减少矿石装、运、提升和矿渣排放，省去采场顶板管理、空区处理和矿石破碎、固液分离等工序，工艺流程简单，投资省，成本低。80%的矿石不运出地表有利于矿区环境保护和矿山退役的环境治理。它适合浸出性能好的中低品位硬岩铀矿床开采，以及矿柱、残矿回收。

（撰写：李开文　审订：周庆林）

yuandi jinchu caiyou

原地浸出采铀　in-situ leaching of uranium deposit　将配制好的溶浸液，通过注液钻孔注入地下疏松砂岩型铀矿层中，在人工造成的液压驱动下沿矿层渗透，通过扩散和对流作用，与天然埋藏条件下的铀矿物发生化学反应，生成含铀元素的浸出液，浸出液通过抽液钻孔提升至地表的采铀工艺。原地浸出采铀主要包括矿床地质和水文地质评价、井型与井距的确定、钻孔结构和施工、溶浸液配制、溶浸范围控制、地下污水防治等方面内容。地浸采铀具有基建投资少，建设周期短，生产成本低，劳动条件好，劳动效率高，环境保护好，资源利用率高等优点。原地浸出采铀目前只适用于具有适宜的地质、水文地质条件的矿床；浸出结束后需要对地下水进行治理。

（撰写：苏学斌　审订：李开文）

yuanzidan

原子弹　atomic bomb　裂变武器的通俗称呼。参见裂变武器。

yuanzidan danxin

原子弹弹芯　core of atomic bomb　原子弹中居于中心部位的易裂变材料部件。一般指钚或高富集度铀，或钚—高富集度铀的组合部件，有时也把内中子源包括在内。

（撰写：郑绍唐　审订：徐逍新）

yuanzidan fansheceng duoceng

原子弹反射层/惰层　reflector/tamper layer in atomic bomb　原子弹中起中子反射层作用和延缓裂变系统因放能而飞散的箍束作用的材料层。作为中子反射层，要求材料的组成原子核有大的中子散射截面和小的吸收截面；作为惰层，要求材料有高的密度。天然铀能很好地满足这两方面的要求，因此常用它作反射层和（或）惰层材料。

（撰写：郑绍唐　审订：徐逍新）

yuanzidan zongzuoyong shijian

[原子弹]总作用时间　transit time [of atomic bomb]　又称内爆时间。内爆法原子弹（或氢弹初级）从雷管起爆到内爆冲击波到达中心的时间间隔。实验测量时常常以核点火部件放出中子时刻，或者测量到裂变γ射线时刻作为内爆冲击波到心时刻的参照点。核试验时，通过测量总作用时间可判断中子点火时刻是否符合设计要求，即是否发生过早或过迟点火。

（撰写：郑绍唐　审订：徐逍新）

yuanzideng

原子灯　atomic lamp　又称同位素光源。利用放射性同位素放出的射线激发磷光体发光的一种微光光源。原子灯一般由灯体、磷光体和β放射性气体三部分组成：灯体是一个透光的密封外壳，通常采用具有耐辐照的玻璃灯泡；磷光体涂在其内壁上（常采用 ZnS (Cu) 物质），激发出绿色光；灯泡经抽真空后

充入β放射性气体再经密封即制成原子灯。目前应用最广的是氚灯（^{3}H）和氪灯（^{85}Kr）。原子灯不需要外界提供能量而自行发光、结构简单，携带方便，且不受外部恶劣环境的影响，隐闭性强，可长期使用。原子灯的亮度为1～10 cd/m^2，主要用于一些特殊的场合的照明，例如夜间枪械准星瞄准，易燃易爆仓库、地下矿井、坑道的照明和安全标志，飞机场跑道夜间指示，公路、铁路、航空、航海的信号灯，夜战行军标识等。

（撰写：吕延晓　审订：蔡善钰）

yuanzihe

原子核　atomic nucleus　原子的中心部分。原子核的线度约10^{-12}cm，仅为原子直径的10^{-4}，但其质量却占整个原子质量的99.9％以上。原子核由统称为核子的质子和中子所组成。质子数目等于相应元素在周期表中的序数，为原子核的核电荷数。中子数与质子数之和为原子核的质量数。原子核是一种有限多体的量子体系。它的性质随其所含的质子和中子数目的不同而发生显著变化。过去，人们较为详细研究过的数百个原子核大都集中在β稳定线及其邻近。随着重离子加速器技术的发展特别是放射性核束装置的出现和改进，可供人们研究的原子核不断向β稳定线两边扩展，逼近或达到原子核的中子或质子滴线，估计数目可达数千个。

（撰写：江栋兴　审订：卢希庭）

yuanzi hewulixue

原子核物理学　atomic nuclear physics　又称核物理学。研究原子核的结构、相互作用和变化规律的科学，是核技术应用的基础。原子核是物质结构的一个层次，一方面它是原子的中心，集中了原子99.97％以上的质量；另一方面它又具有丰富的内部结构和内禀自由度。核物理学的主要任务之一，就是研究原子核的结构。原子核是由核子（质子和中子）组成的一个量子多体系统。核的能级结构既有单粒子在平均场中运动的特性，也有集体运动的特性，分别由不同的理论模型描述，比如壳模型和综合模型。在考虑原子核的许多精细特征，特别是描述在高能量碰撞下的特性时，需要考虑强子和夸克自由度。原子核提供了研究有限量子多体体系的范例。

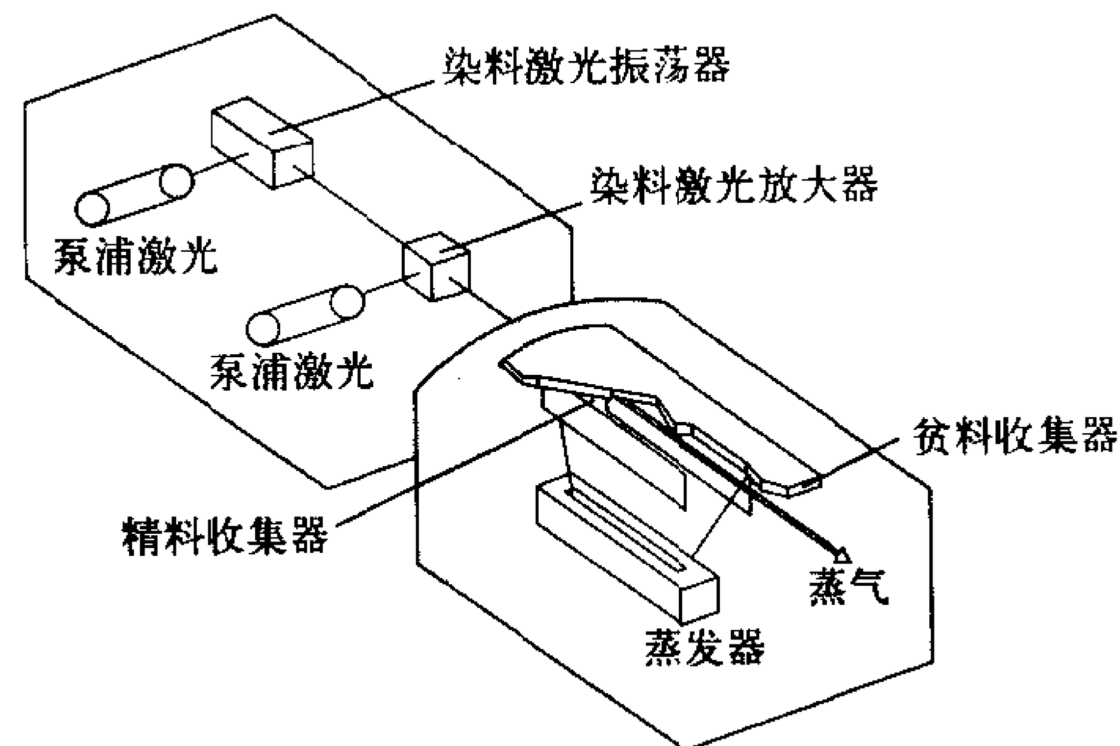
原子核可以通过自发地发射粒子而发生转变，称为放射性衰变，包括α衰变、β衰变、γ衰变、重离子放射性甚至裂变等。核物理用量子力学方法可以定量地描述这些衰变过程，但还不能准确地预言诸如超重元素的寿命以及核中质子数和中子数的边界等，这有待发展和完善。核的衰变决定了核的稳定性。不衰变的稳定原子核约300种，而理论预言的不稳定原子核可达约8000种，已经发现和研究过的才约2000种，更大量的新核素有待生成和研究。原子核也可以在外部作用下发生转变，称为核反应。核反应大大丰富了人们变革原子核的手段，大多数已经发现的核素和积累的核结构知识都基于核反应研究。核物理学描写核反应的各种机制，典型的如库仑激发、直接反应、深度非弹散射、复合核反应等。随着碰撞体系在质量、能量、角动量、同位旋等自由度上的扩展，核反应的机制更加复杂，通过核反应可以研究的物理内容更加广泛。

核过程中涉及强、弱、电磁各种基本相互作用。核子—核子之间有很强的作用力，称为核力，它是核子内部夸克—胶子间基本强相互作用在核子之外的剩余相互作用。核力决定了核的结构。目前核物理学对核力还只能给出唯象的描述或比较深入的基于量子场论的描述，从夸克—胶子间基本相互作用出发来描述核力是核物理学面临的一个挑战。核物理起源于1896年贝可勒尔发现天然放射性，并在20世纪得到巨大发展。在核物理的基础上，产生了粒子物理学科，它是当今研究物质微观结构的最前沿。核物理与天体物理交叉，产生了核天体物理，它在研究宇宙演化和物质起源中起着关键作用。核物理研究派生出的核技术应用，如核能、核武器、核医学、核农学、离子束材料学、辐照加工等，对人类的生存与发展产生了不可估量的影响。当今，核物理作为研究有限多体量子复杂体系的学科，自身的发展方兴未艾，在放射性核束物理、中高能核物理、相对论重离子碰撞等若干前沿领域有望取得重大进展，同时也必将导致许多新的应用。

（撰写：叶沿林　审订：许谨诚）

yuanzi zhengqi jiguangfa

原子蒸气激光法　atomic vapor laser isotope separation (AVLIS)　金属元素被加热形成原子蒸气，蒸气原子的某一同位素与激光相互作用，被不同波长的激光选择性激发，依次到达不同的激发态，直到被电离变为离子，而未受激发的其他同位素原子仍保持中性，而后采用电场或磁场将离子和原子分离收集，从而实现同位素的分离。该方法全称为原子蒸气激光分离同位素，又称原子法，因工作介质为原子蒸气而得名。原子蒸气激光法是激光分离同位素中最成熟的方法。它主要由激光器系统和分离器系统两部分组成（见图），激光器系统由泵浦激光器系统及染料激光器系统组成，提供选择



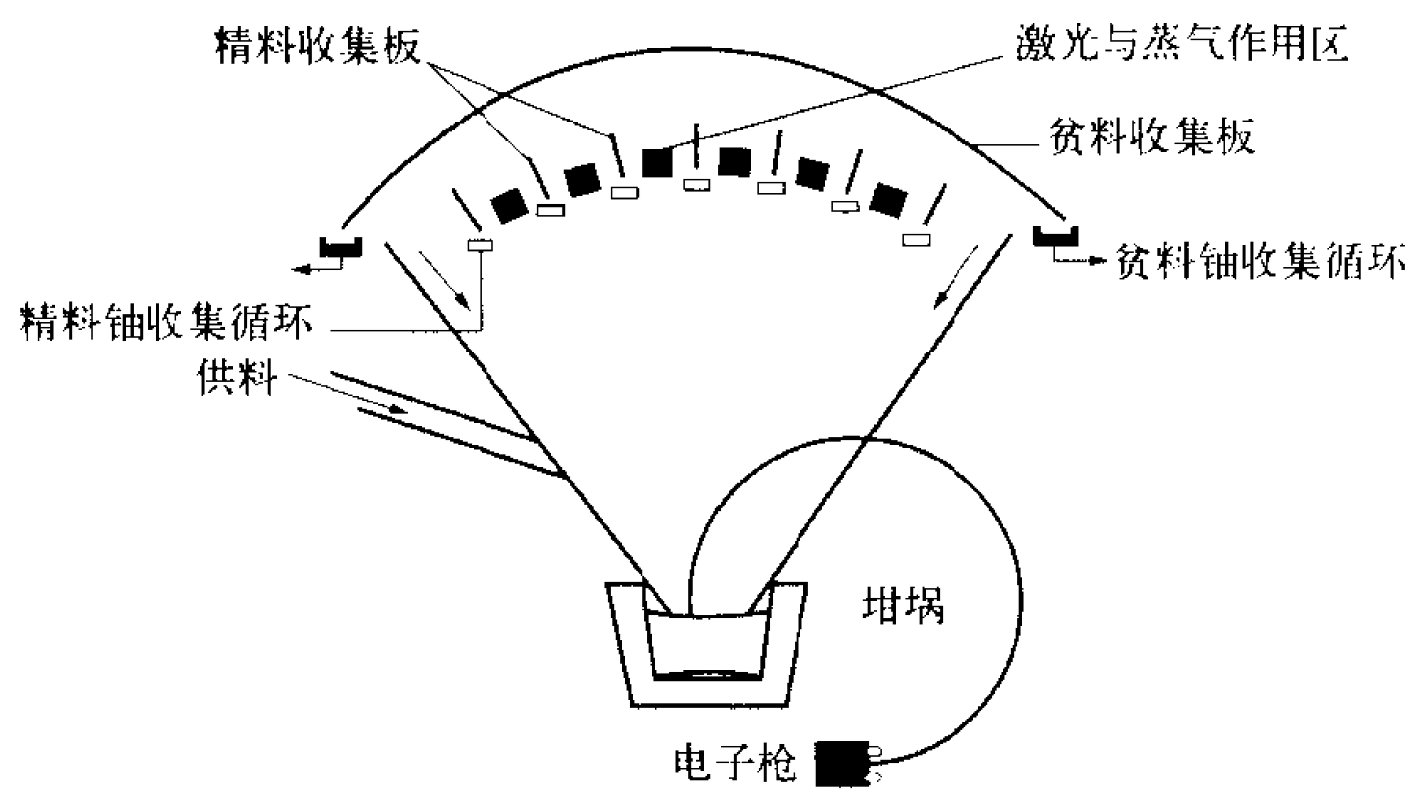
原子蒸气激光分离同位素法示意图

激发和电离同位素原子所需的激光；分离器系统由真空室、蒸发器、分离室、收集器组成。原子蒸气激光法以其分离系数高为特点，以分离铀同位素为例，在分离器中一次分离，可获得^{235}U为5%的低浓缩铀。

（撰写：张志忠　审订：应纯同）

yuanzi zhengqi jiguangfa fenliqi xitong

原子蒸气激光法分离器系统　separation system of AVLIS　又称原子蒸气激光同位素分离系统。激光束与原子蒸气束相作用实现同位素分离的装置。分离器系统有：大功率电子枪，铀金属熔化蒸发装置，激光等离子体离子引出装置，精料和贫料收集与循环装置（见图）。大功率电子枪加热坩埚中的铀金属，使其熔化、蒸发形成原子蒸气束。由大功率泵浦激光器泵浦可调谐激光器，输出一束双色或三色激光并注入分离器系统。激光经多次反射与原子蒸气束相作用，使目标同位素原子激发、电离，产生激光等离子体。在电场作用下，激光等离子体离子发生偏转被引出收集在精料板上，未激发的非目标同位素原子仍为中性并被收集在贫料板上，实现同位



分离器系统示意图

素分离。采用加热方法使收集板保持一定温度，达到精料和贫料成液态收集和循环。（撰写：王德武　审订：应纯同）

yuanzi zhengqi jiguangfa jiguangqi xitong

原子蒸气激光法激光器系统　laser system of AVLIS　通常由多个激光振荡—放大链组成的泵浦激光器系统和染料激光器系统构成。它是激光分离同位素的重要组成部分。它提供波长稳定、功率强、重复频率高、方向性好的激光束，以确保选择激发和电离同位素原子所需的能量。以分离铀同位素为例，对于1000 t SWU/a的分离系统约需要12个泵浦激光器链和两个染料激光器单元组成，提供大于2.5 kW的激光功率。泵浦激光器通常由铜蒸气激光器组成，单台铜蒸气激光器的输出功率从几十瓦到几百瓦，目前有的国家已达800 W。数台铜蒸气激光器组成一个振荡—放大链，为染料激光器提供能量。近来随着半导体激光器的发展，半导体泵浦的固体激光器将代替铜蒸气激光器成为新的泵浦源，这样可以大大提高激光器的寿命和系统的可靠性，缩小激光系统的体积。染料激光器由一个激光振荡器和多个放大器组成，输出选择光电离所需波长的激光，多台不同输出波长的染料激光器组成一个染料激光器单元。（撰写：张志忠　审订：应纯同）

yuan

源　source　可以通过诸如发射电离辐射或释放放射性物质或物料而引起辐射照射的任何物体。从其来源看，可分为人工源和天然源；从其用途看，可分为辐射和核技术应用和核设施；从安全管理看，可分为工业中的辐射源、医学中的辐射源、核设施和放射性废物。在这里，源这个术语表示照射的来源而不一定是一个物理的辐射源。例如医院的职业照射源可以是X射线机而不是X射线管的阳极，后者是X射线的物理源。当一个工号把放射性物质作为废物排放到环境中时，整个工号可视作一个源。作为源的例子，如发射氡的物质是存在于环境中的源，γ辐照消毒装置是食品辐照保鲜实践中的源，X射线机可以是放射诊断实践中的源，核电厂是用核动力发电实践中的源。从辐射防护观点看，在一定条件下置于同一地点或场地的复合装置或多种装置均可酌情视为单个源。个体可以受到来自一个以上源的辐射照射。如果包括天然源在内，则所有个体均受到几个源的照射。

（撰写：潘自强）

yuancailiao

源材料　source material　天然铀；贫化铀；钍；含上述任何物质的金属、合金、化合物或浓缩物的材料；任何含一种或多种上述物质并达到国际原子能机构理事会随时确定的浓度的材料；理事会可随时确定的其他材料。根据INFCIRC/153型的保障协定，源材料不包括矿石或矿渣，以及黄饼（一种以U_3O_8为主要成分的浓缩物）。（撰写：刘大鸣　审订：李　泽）

yuan de anquan

源的安全　safety of source　辐射安全的重要方面。对于任何正当的实践来说，辐射安全目标要依靠保护受照个人和确保辐射源安全两方面的要求来实现。使任何辐射源保持安全状态的办法包括：(1)既要控制好预计此源正常运转时肯定会引起的照射剂量，又要控制好可能发生但不一定发生的照射(潜在照射)的概率及其剂量大小和受照人数；(2)使引起的剂量、遭受剂量的概率及受照人数低到可合理达到的水平；(3)对源施加一系列旨在确保其安全的行政管理和技术要求。行政管理要求包括通告开展实践的意图，源的登记或办理许可证，持证者的责任，以及源的更改、免除监管或解除监管等。技术要求包括源的保安、纵深防御和良好的工程实践。源的保安除了防止源的失窃或损坏，定期盘点确认源处于安全状态外，也要防止未经许可的人员实施持证者义务中的任何行动，始终保持对源的控制。纵深防御措施要纳入源的设计和运行程序中，必须采用与所涉潜在照射大小和可能性相称的多层次防护与安全系统，以致当某一层次失效时后继层次能加以弥补或纠正。良好的工程实践涉及源的选址或定位、设计、建造、组装、调试、运行、维护、退役和最终处置等各方面，得到组织管理措施支持的完善的工程实践是源在整个寿期内防护与安全的基础。应保证源由受过严格训练并对安全有强烈责任心的人员，按严格的程序来管理和运行。良好的工程原理和实践，应已为试验和经验所证明，并反映在已批准的法规、标准和其他合适的文件中。源的设计，建造和操作方面要具有充足的安全裕度，重点放在预防事故发生、减轻事故后果和限制远期照射上。应急计划是减缓事故后果系统的组成部分之一，要有与源的复杂程度相应的应急计划。（撰写：陈明焌　审订：胡遵素）

yuan xiangguan zhaoshe

源相关照射　source-related exposure　所考虑的照射是由一个给定的源对所有有关人员产生的照射。有别于个人相关照射。源的辐射或放射性物质通过不同的环境途径使个体（可能是许多个体）受到单一初始源的照射。源相关照射与个人相关照射评价的概念是国际放射防护委员会1990年建议书引入的。源相关照射的评价使得有可能判断一个源带来的利益是否足以超过它可能伴有的不利，以及是否已经采取所有合理的措施以减少由它引起的辐射照射。在源相关照射的最优化过程中，应使用分配给该源的剂量约束值。

（撰写：金月如　审订：马如维）

yuanxiang

源项　source term　从给定源实际或可能释放的放射性物质，可以包括释放物质的量、组成以及排放速率和方式。

（撰写：潘自强）

yuanxin

源芯　source core　放射源中含有放射性物质的部分。源芯是放射源的核心部件，决定了放射源的主要参数，如射线类型、能量、源强（初始活度）和使用期限等。为了确保放射源

的可靠性和安全性,源芯应具有合适的物理状态和稳定的化学形式。源芯通常都制成固体形式，也有的直接使用液体和气体。对于密封放射源源芯，须密封在安瓿或金属包壳内。

（撰写：吕延晓　审订：蔡善钰）

yuanchang

远场　far field　近场之外的地质介质,即不受废物库存在影响的废物库周围的地质介质。近场与远场是为方便模式计算而划分的，它们之间并没有严格的界定。在模式计算中，通常把废物库作为一个实体对待，非本实体的部分即为远场。在有些情况下，远场也包括核素可能迁移到的周围环境。

（撰写：刘春立　审订：王志明）

yuanjuli fangshe zhiliao

远距离放射治疗　remote radiotherapy　辐射源位于体外一定距离,集中照射人体某一部位的治疗方法,简称外照射。目前常规远距离放射治疗多采用^{60}Co治疗机(见图)、X射线治疗机与电子加速器等装置，借助于γ射线、X射线和电子束对病灶（特别是深部肿瘤）进行集中照射以求取得良好治疗效果(见表)。近年来，一些重粒子（如质子、快中子、α粒子、氘核、负π介子与其他重离子）辐射也陆续应用于远距离放射治疗。这些重粒子一般具有较高的传能线密度(LET),导致较强的相对生物效应（RBE）和较大的氧增强比（OER），对乏氧肿瘤细胞杀伤力尤其显著，因而优于光子和电子等轻粒子的治疗作用。



^{60}Co治疗机外观图

临床常规远距离放射治疗的方法与特点

辐射类型	治疗装置	特　点	临床适用范围
γ射线	^{60}Co治疗机	穿透力强、装置简单可靠，需换源、焦点大	深部肿瘤（皮肤受照射剂量大）
X射线	X射线治疗机	能量可调、装置结构简单，能量较低	表浅肿瘤
电子束	电子加速器	照射野大，装置结构复杂	深部肿瘤
	电子加速器	能量调节范围大，装置造价高	浅部肿瘤

（撰写：王荣福　审订：吕延晓）

yunshu gongju

运输工具　conveyance　运输工具系指（1）公路或铁路运输时的任何车辆（见图）。（2）水路运输时的任何船舶或任何船舱，隔间或船舶的有限舱面区。（3）空中运输时的任何飞机。



研究堆乏燃料公路运输的车辆

（撰写：董柳灿　审订：赵亚民）

yunshu rongqi

运输容器　transport vessel　为安全运输放射性物质而设计的包容放射性物质包括易裂变物质的专用容器(见图)。运输容器一般由筒体、顶盖、O形环、吊耳以及螺栓螺母等部件组成。由于所运输的放射性物质的核素、活度、质量、外形尺寸以及物理化学形态等不同，因此运输容器的结构、所使用的材料、形状和尺寸以及自身的质量等亦各不相同。



图1　^{192}Ir医用放射源运输容器



图2　研究堆乏燃料运输容器

两种运输容器

（撰写：董柳灿　审订：赵亚民）

yunshu zhishu

运输指数　transport index　给货包、外包装或货物集装箱,或无包装的Ⅰ类低比活度物质或Ⅰ类表面污染物体指定的一个数字,利用它对运输中的辐射照射进行控制。对于货包、外包装或货物集装箱，或无包装的Ⅰ类低比活度物质和Ⅰ类表面污染物体的运输指数，按下列程序推导出来的数值:(1)距离货包、外包装或货物集装箱，或无包装的Ⅰ类低比活度物质和Ⅰ类表面污染物体外表面1m远处，以mSv/h为单位表示最大辐射水平乘以100所得到的数字就是运输指数。对于铀、钍的矿石及其浓缩物，在距离货包外表面1m远处的任一点，其最大辐射水平可取作：铀和钍的矿石及其物理浓缩物为0.4 mSv/h；钍的化学浓缩物为0.3 mSv/h；除UF_6以外的铀的化学浓缩物为0.02 mSv/h。(2)对于运输罐、货物集装箱和无包装的Ⅰ类低比活度物质和Ⅰ类表面污染物体，按上述（1)的方法确定的值还应乘上表中所规定的放大系数。(3)除了等于或小于0.05的值可以认为是零以外，按上述（1）和（2)的方法确定的数字都应取作一位小数。(4)对于每个外包装、货物集装箱或运输工具的运输指数既可以用所包含的所有货包的运输指数之和也可以用直接测量辐射水平来确定,但对于无刚性固定的货包只能用所有货包的运输指数之和加以确定。

大尺寸装载的运输指数放大系数

装载的最大截面积S/m²	放大系数
$S \leqslant 1$	1
$1 < S \leqslant 5$	2
$5 < S \leqslant 20$	3
$S > 20$	10

（撰写：董柳灿　审订：赵亚民）

yunxing anquan dizhen

运行安全地震　operational safety earthquake　核电厂寿期内预期可能发生的地震，简称SL-1，在美国称为“运行基准地震”(operating basis earthquake，OBE)。运行安全地震的地面运动最大加速度通常取为极限安全地震的1/3～1/2,各国规定不一，我国规范取为极限安全地震的1/2（参见**极限安全地震**)。核电厂在受到运行安全地震作用时必须能保持正常

运行。因此，在运行安全地震作用下，为核电厂连续运行所必需的系统、设备和部件，必须能保持其正常功能。而且，由地震作用和正常载荷相组合所产生的应力和应变必须限制在弹性范围之内。（撰写：黄经绍 审订：张忠岳）

yunxing anquan guanli tixi

运行安全管理体系 operational safety management system 核电厂营运单位为推进高水准的安全文化并确保实现安全目标所采取的一切安全管理措施。核电厂的管理重点必须放在核安全和辐射防护以及有关的管理要求上。为了达到安全目标，并使安全目标在相当大的程度上可以度量，运行的核电厂一般都建立自己的业绩指标体系，如流出物的排放量和三道安全屏障完整性监督指标等。它们既是营运单位对国家核安全监管当局的承诺，又用来衡量营运单位的安全管理体系的有效性。"安全管理措施"是指为使安全管理体系运作有章可循的一整套行政管理制度，并通过行政管理规程加以规范化。安全课题不应独立于核电厂其他业务活动来加以管理，安全管理措施应与质量保证大纲形成有机整体，质量保证大纲应涵盖所有与安全相关的活动。营运单位应有持续改进机制，即除了依靠组织内部的质量保证部门和安全监督部门发现偏差外，还必须建立经验反馈制度和自我评估制度，对业绩指标下降趋势和安全管理体系某些环节失效的症候作出分析，及早采取纠正行动。（撰写：钱锦辉 审订：陈叔平）

yunxing anquan pinggu

运行安全评估 operational safety review 核电厂为持续改进运行安全所实施的主要以安全管理为主题的自我评估活动或由外部机构主持的评估活动。在美国三里岛核电厂事故和苏联切尔诺贝利核电厂事故后，世界核工业界倡导开展这类活动。主持评估活动的外部机构有：(1) IAEA所组织的运行安全评估组 (Operational Safety Review Team OSART)，它是IAEA应成员国的请求，从机构内部或各成员国选聘专家前往提出请求的成员国对其核电厂运行安全进行评估的一种工作组；(2) 世界核电营运者协会 (WANO) 所组织的同行评议 (Peer Review)；它是应核电厂营运公司的申请，由WANO在成员核电厂中选聘专家组成同行评议小组。以上两类外部独立评估活动一般约历时三周，他们通过文件研究、当面交流和现场考察等方式，对核电厂安全管理的有效性作出独立评估，并以评估报告方式向核电厂提出改进建议，或肯定核电厂的良好实践向同行推荐。（撰写：郭丰守 审订：钱锦辉）

yunxing gongkuang

运行工况 operating conditions 又称运行状态。核电装置正常工况和异常工况的总称。核电装置在运行期间经历的各种在运行限值范围内的运行工况，如启动、停运、功率运行、维修、试验、停堆换料和各种正常运行瞬态都属于正常工况。偏离运行限值，达到或超过安全系统整定值，可能会引发停堆，但尚未造成事故的工况属于异常工况，或称预计运行事件（参见核设施状态分类）。（撰写：宫广臣 审订：钱锦辉）

yunxing guanlizhe

运行管理者 operational management 由核设施营运单位（或其主管部门）委任的负责指挥核设施运行，并承担直接安全责任的人员或组织。核设施运行管理者必须保证核设施以安全方式运行，特别是要符合运行限值（参见运行限值）。核设施运行管理机构必须能适应执行直接影响核设施安全运行的一切职能。对履行此种职能的职责必须作明文规定。任何时候都必须保持为履行上述职能所需要的足够数量的合格人员。与安全有关的某些职能可由核设施营运单位内，但不属于核设施运行管理者组织的合格人员去完成。这些职能必须以书面形式明确规定，并且在现场付诸实施时必须经核设施运行管理者的批准。当建议进行正常运行程序以外的活动时，必须编写包括所建议活动的内容和操作细节的专门程序，并必须由了解这些活动对安全的全部影响的人员认真的加以审查。涉及安全的专门程序必须按有关规定报送国家核安全监管部门批准。核设施运行管理者必须定期审查核设施的运行情况，并对已查明的问题采取适当的纠正措施，安全有关的重大事件必须上报国家核安全监管部门。

（撰写：王秀清 审订：俞尔俊）

yunxing guicheng

运行规程 operating procedures 核电厂运行人员对核电装置和系统进行各种操作、处理系统和设备故障及各种事故所必须遵守的书面文件。运行规程通常分为：(1) 总体运行规程：用以指导核电装置启动和停运的总体活动；(2) 系统运行规程：详细描述一个系统在准备、启动、停止、监视时要进行的所有运行活动；(3) 换料与大修规程：专门用于换料大修期间运行活动的规程，它们详细描述核电装置停运、维修、换料、启动要进行的总的活动；(4) 系统报警信号处理卡：操纵员处理每个报警信号所依据的文件，包含报警定值、原因、后果、风险、要使用的规程或要执行的操作等信息；(5) 定期试验规程：用于设备维修后再鉴定或定期检查系统可运行状态的定期试验，包含试验目的、试验周期、前提条件、潜在风险和试验步骤等；(6) 事故处理规程和严重事故处理规程。（撰写：张仕为 审订：郑伟平）

yunxing jilu

运行记录 operational records 记载核设施运行情况的历史资料，如仪表记录纸、各种证书、运行日志、计算机打印输出和磁带等。为保证核设施的安全运行，核设施营运单位在运行开始之前必须具备与核设施设计和建造有关的所有基本资料。这些资料包括设计规格书和安全分析、所供应的设备和材料的详细说明、竣工图、制造厂提供的运行和维修手册以及其他质量保证文件。核设施营运单位必须取得调试记录，包括试验报告以及运行期间定期试验、检查和检验所必需的质量保证文件。运行记录必须包括：核设施运行状态；易裂变材料，可转换材料和其他特种材料的数量和转移情况；维修、试验、检验、检查和修改；质量保证；厂区人员资格、职位、体格检查和培训；照射量、排出流的排放、环境监测和放射性废物贮存。记录贮存和保管必须符合质量保证要求。文件管理体系必须保证所有使用的文件是最新版本。

（撰写：王秀清 审订：俞尔俊）

yunxing jishu guigeshu

运行技术规格书 operating technical specification 核电装置处于正常运行工况下操纵员必须遵守的技术规定。它包括安全限值、安全系统整定值、正常运行的限值和条件、监督要求以及在某些安全相关系统的功能不可用时操纵员所要遵循的运

行规定。它等同于我国核安全法规使用的术语"核电厂运行限值和条件"。营运单位必须以核电厂安全分析为基础，并根据竣工状态和调试结果来制定运行技术规格书，在开始运行之前，呈请国家核安全监管机构评价和批准。经批准的运行技术规格书将构成营运单位受权运行核电装置的重要依据，并必须严格遵循。核电厂编制的运行规程必须与运行技术规格书相一致，确保运行技术规格书的贯彻执行。

（撰写：曾伟文　审订：钱锦辉）

yunxing jingyan fankui

运行经验反馈　operating experience feedback　营运单位从所属核电厂或行业中发生的事件中吸取经验来不断自我完善的一套制度。其目的是防止类似事件重复发生，并通过定期的内部事件趋势分析来检查经验反馈的有效性，使核电厂运行业绩得到持续不断的改进。运行经验反馈涵盖下列过程：(1) 收集和分析来自运行和维修责任部门或事件目击者的初始事件简报单；(2) 将内部运行及维修过程中产生的偏差、异常、故障、事故等按规定的准则界定为不同级别的事件，并确定需作专门报告和纳入经验反馈、跟踪过程的事件；(3) 重要事件根本原因的分析以及纠正行动的制定和落实；(4) 定期对内部事件进行趋势分析；(5) 向国内和国际机构通报本单位的运行事件；(6) 搜集国内外核电厂发生的事件并筛选出可供本厂借鉴的信息。运行经验还应反馈到核电厂的设计、制造和建造等部门，使它们能在今后工作中加以改进。

（撰写：符祥群　审订：钱锦辉）

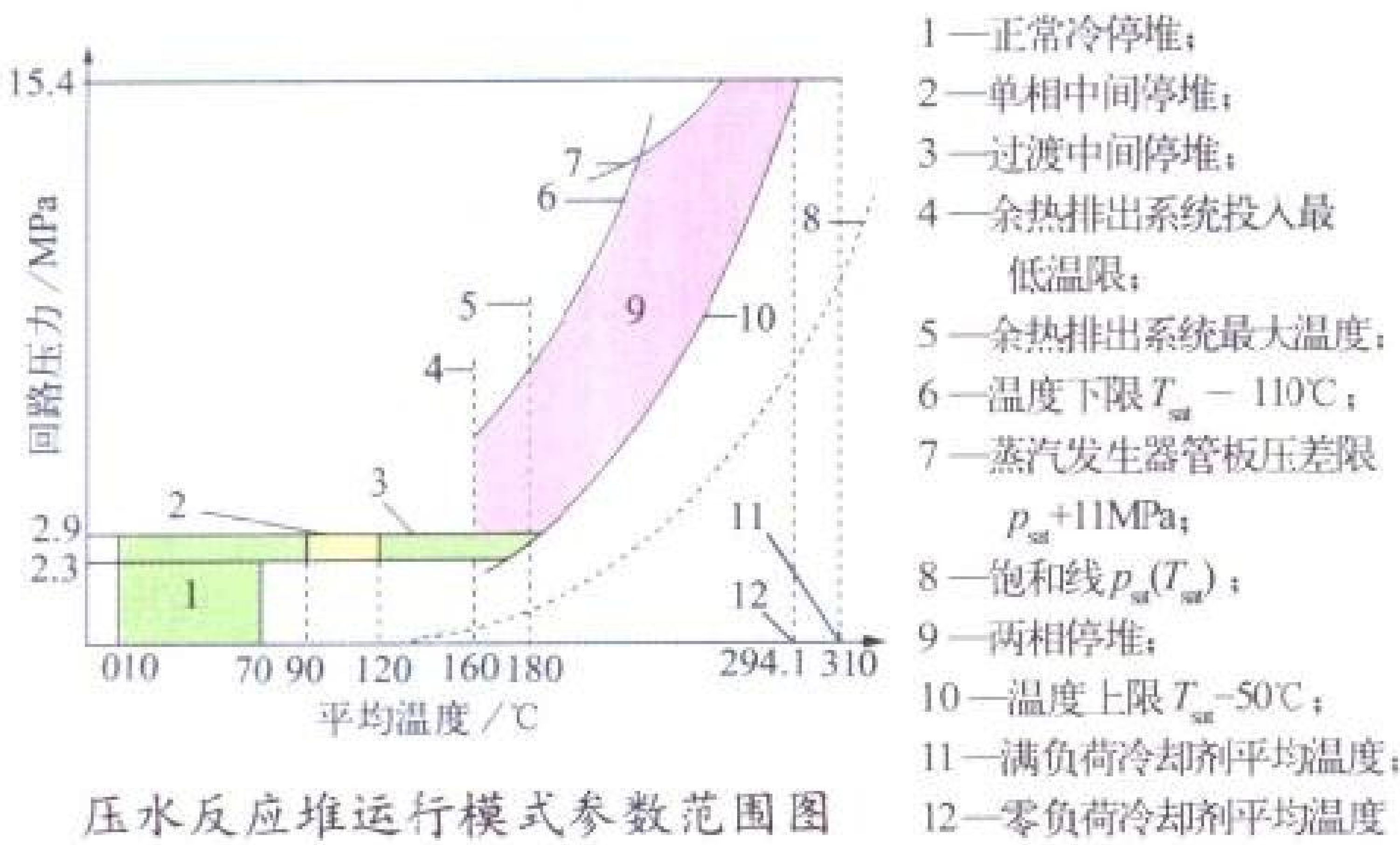
yunxing moshi

运行模式　operating mode　在运行技术规格书中，根据反应堆功率水平、反应性状态（临界或某一停堆深度）、反应堆冷却剂平均温度和压力等条件，规定了正常运行工况下反应堆可维持的不同状态，每种状态称为一种运行模式。以压水堆为例，运行模式包括换料冷停堆、维修冷停堆、正常冷停堆、单相中间停堆、过渡中间停堆、双相中间停堆、热停堆、热备用和功率运行等。运行技术规格书严格规定了每种运行模式的安全参数限值和系统可用性条件。

（撰写：宫广臣　审订：钱锦辉）

yunxing moshi canshu fanwei

运行模式参数范围　range of operating modes　对每一种运行模式由运行技术规格书规定的反应堆冷却剂系统压力和平均温度的允许运行范围。在此范围内运行可保证第二道屏障（主回路压力边界）完整。压水堆的此种允许运行范围如图所示。图中温度下限线规定了稳压器与主管道热管段之间的最大温差为110℃，用以限制稳压器波动管热应力；蒸汽发生器一、二次侧最大压差限制线为11.0 MPa，用以限制蒸汽发生器管板载荷；余热排出系统必须投入的最低温度为160℃，用以保证寿期末反应堆冷却剂系统升压时反应堆压力容器工作温度高于其材质的无延性转变温度。



压水反应堆运行模式参数范围图

（撰写：钱锦辉　审订：陈叔平）

yunxing renyuan

运行人员　operational personnel　厂区人员当中参加核设施运行的人员。必须以书面形式明确规定运行人员的职责，权力和联络渠道。必须授予运行人员足够的权力，以保证他们能有效地履行其职责。只有具备特定资格并经指派的运行人员，才有权控制和指挥核设施的运行和状态改变。任何人不得干扰他们作出涉及安全的决定。核设施营运单位必须规定运行人员的资格要求，并按有关规定报送国家核安全监管部门。必须挑选适当的合格人员并给予必要的培训和指导。使他们能在核设施各种状态和事故工况下按照运行规程正确地履行职责。承担安全重要工作的人员应持有国家核安全监管部门颁发或认可的正式证书。必须制定培训大纲，借以对将要分配到与安全有关岗位上的人员进行培训。必须定期审查培训大纲，以核实其有效性。树立核设施运行中安全第一的意识是核设施中各层次人员培训工作的中心任务。培训大纲中必须列入事故工况和应急状态下需要采取行动的有关课题。应利用调试活动的有利条件，为运行人员提供进一步的培训，并使他们获得第一手经验。培训大纲必须列有对运行人员进行定期考核及定期再培训的规定。

（撰写：王秀清　审订：俞尔俊）

yunxing renyuan peixun kaohe yu quzhao

运行人员培训、考核与取照　operating personnel training, assessment and licensing　核电厂操纵员和高级操纵员掌握相应知识与技能及对其进行考核，并获取相应资格证书的过程、方式和手段。培训考核内容可分为核电厂基础理论和专业知识、运行现场有关岗位技能、全范围模拟机操作训练三大部分。每个培训阶段，学员都接受不同形式的考试或考核，通过者方能继续进行下一阶段的培训。完成相应岗位规定的培训并合格者，可参加在国家核安全监管机构监督下并由国家有关部门组织的操纵员或高级操纵员执照考试。国家核电厂操纵人员资格审查委员会负责审查执照申请者的资格并向国家核安全监管机构推荐合格者名单，由国家核安全监管机构核准并颁发相应执照。反应堆操纵员和高级操纵员都必须定期进行再培训和再考核。

（撰写：徐平生　审订：沈光耀）

yunxing xianzhi

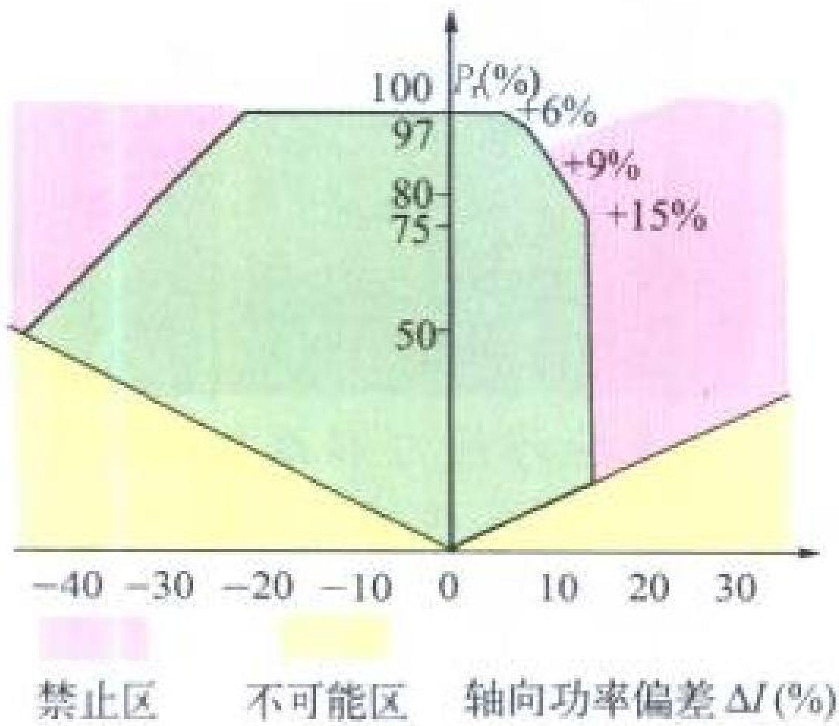
运行限值　operational limit　经国家核安全监管部门认可，为核设施的安全运行列举参数限值，设备的功能及人员执行任务的水平等一套规定。运行限值必须作为核设施营运单位授权运行核设施的一个重要依据。对运行负有直接责任的运行人员必须熟知运行限值，并保证遵守。运行限值的作用为防止发生可能导致事故工况和状态；如果发生这种事故工况，则可减轻其后果。运行限值按其性质可分为：安全限值、安全系统整定值、正常运行的限值和监督要求。在发生异常事件后，必须使核设施恢复到安全的正常运行状态，必要时包括停止运行。在核设施运行偏离一项或多项规定的运行限值

时，必须立即采取适当的纠正措施，事后营运单位必须对上述偏离和纠正措施进行审查和评价，并报国家核安全监管部门。

（撰写：王秀清 审订：俞尔俊）

yunxing xianzhi tu

运行限值图 operating diagram 又称运行梯形图，简称运行图（见图）。在反应堆相对功率（P_r）和轴向功率偏差（ΔI）坐标平面上所定义的允许运行区域。该图指导操纵员控制反应堆，防止堆芯功率分布过分偏向于堆芯下部或上部，以保证发生失水事故或反应性引入事故时的安全。每一特定反应堆都应通过安全分析来确定其运行图，并在运行技术规格书中作出规定。主控制室CRT上除显示允许运行边界外，还显示P_r–ΔI的实时测量值。两者的坐标单位均以额定功率的百分数表示。反应堆操纵员通过控制棒等手段抑制轴向氙振荡或降低反应堆功率，使P_r–ΔI实时测量坐标轨迹维持在允许运行区之内。如操纵员操作失当，使P_r–ΔI点达到边界，汽轮机调节系统将自动降负荷。该显示系统不属反应堆保护系统，因而不会触发自动停堆。



运行限值图

（撰写：肖 岷 审订：钱锦辉）

yunxing xingneng zhibiao

运行性能指标 performance indicators 衡量运行核电厂的安全性、可靠性、效率等业绩的定量描述。国际核工业界广为采纳的性能指标体系共包括10项：(1) 装置容量因子，即给定时间内装置的实际利用容量与额定利用容量之比。由于电厂不能控制的原因如电网调度、季节变化等所引起的利用容量损失不予扣除。(2) 非计划容量损失因子，即给定时间内装置的非计划利用容量损失与额定利用容量之比。(3) 7000 h反应堆临界非计划自动紧急停堆数，即每座装置每7000 h反应堆临界运行由反应堆保护系统逻辑触发的非计划自动紧急停堆次数。(4) 安全系统性能，即给定时间内安全系统部件或系列不可用的小时数总和除以要求系统可用的时间与系统系列数之积。压水堆要考核的安全系统是高压安全注射系统、辅助给水系统和应急交流电源系统。(5) 热性能，即最佳可达毛热耗与实际平均毛热耗的修正值之比。(6) 燃料可靠性，即反应堆冷却剂中裂变产物比活度的修正值。压水堆的燃料可靠性为稳态下反应堆冷却剂内碘-131的归一化修正比活度。(7) 集体辐射剂量，即给定时间内按核电装置平均的核电厂现场人员（包括承包商和参观人员）总的外照射与内照射剂量。(8) 放射性固体废物体积，即给定时间内经过处理完毕并准备永久贮存的放射性固体废物体积。(9) 化学指标，将回路介质中若干有害杂质和腐蚀产物的测量浓度除以其限值，然后将其总和进行归一化。配备自然循环式蒸汽发生器的压水堆考核以下六项化学物：蒸汽发生器排污水中的氯离子、硫酸根离子、钠离子，主给水中的铁、铜和凝结水中的溶解氧。(10) 工业安全事故率，即核电厂长期工作人员（连续工作一年以上）每20万或100万工作人·小时，导致死亡或因伤影响工作一天以上（不包括事故当天）的事故数之和。

（撰写：池志远 审订：钱锦辉）

yunhe

晕核 halo nucleus 少数中子（或质子）的分布远离核芯的核。一般认为，晕核中的中子数远多（或少）于质子数，最后一两个中子（或质子）的束缚极弱，从而形成了环绕在（其它中子和质子结合成的）核芯周围、与核芯结合较为松散、空间分布很广的低密度准中子（质子）物质。实验发现了中子晕核，如^{11}Li, ^{11}Be, ^{14}Be等，也发现了质子晕核的迹象。晕核的均方根半径比相邻同位素或同中子异位素的原子核均方根半径大很多，例如^{11}Li的均方根半径与^{208}Pb的均方根半径大致相当。中子晕核是在测量相互作用截面的实验中发现的，中子晕核碎裂产物的动量分布测量进一步证实了晕中子的空间分布很广。理论预言存在包含多于两个晕中子的“巨晕核”，尚待实验证实。

（撰写：周善贵 审订：卢希庭）



Z gusuo guanxingyueshu jubian

Z 箍缩惯性约束聚变 inertial confinement fusion driven by Z-pinch 利用快速 Z 箍缩驱动器在空腔中产生的强 X 射线驱动的惯性约束聚变。主要有两种黑腔靶构型：一种为动力学黑腔，采用双重嵌套的金属丝阵列，内置一低密度泡沫塑料圆柱体，圆柱体中心置一 DT 靶丸。这种结构只有一个腔，PBFA-Z 装置在这种腔靶中心已产生 300 × 10⁴℃ 高温；另一种黑腔是 Z 箍缩驱动空腔，由初级腔与次级腔构成，初级腔 Z 箍缩内爆产生 X 射线辐射经通道传输到次级腔，均匀加热、压缩靶丸，引发聚变。Z 箍缩产生的 X 射线功率必须达到 1000 TW、能量达到 16 MJ 才能引起靶丸点火，为此，正在研制电流为 60 MA 的X-1 Z 箍缩驱动器。这种聚变方法的特点是驱动源具有高功率、低成本、并能以 15% 的高效率把输入电能转变成 X 射线辐射。

（撰写：单玉生 审订：杨大为）

Z gusuo qudongqi

Z 箍缩驱动器 Z-pinch driver 利用电磁内爆 Z 箍缩产生高温、高密度等离子体并发射强 X 射线辐射的装置。主要由脉冲高压功率源、衬筒形丝状金属负载和装此负载的空腔构成。利用快速脉冲功率源产生的高压脉冲在阴、阳电极之间丝状衬筒负载上放电产生强脉冲电流。负载在强电流及其自身强磁场产生的洛伦兹力作用下烧熔为等离子体薄壳，并对称地向中心 Z 轴压缩，在 Z 轴附近极小区域中阻滞、箍缩形成高温、高密度等离子体并辐射强 X 射线。单个脉冲功率源组件包括 Marx 发生器、脉冲形成线、激光触发放电开关、磁绝缘传输线、负载等。为得到高脉冲电流，通常利用多个脉冲功率源组件，环形组合排列，并同步动作。

（撰写：单玉生 审订：杨大为）

zaiyi jiancha

在役检查 in-service inspection 核电厂运行期间对反应堆冷却剂回路（主回路）压力边界的耐压设备进行的无损检测。在运行过程中，由于温度、应力、辐照、氢吸附、腐蚀、振动和磨损等不利影响，可能使核设备某些缺陷发展和产生新的危险性缺陷。在役检查的目的在于：运用无损检验方法检查压力边界设备，将检测结果与投产前的“役前检测”所得数据进行比较，及时检查出那些会引起主回路系统破损的缺陷，采取必要的措施，以确保压力边界的完整性。在核电厂设计中要充分考虑在役检查要求，考虑受检部位的可检性、可达性和永久的基准点，并尽可能将检查人员所受到的辐照剂量降低到合理可行尽量低的水平。为了确保设备或部件中的损伤能在导致破损前探测到，必须在一定的间隔时间内进行在役检查。在役检查的方法和技术必须符合主管当局认可的标准，所采用的方法有：目视检查、表面检查、体积检查和其他替代的检验方法。在役检查均采用无损检验方法。无损检验的应用效果与进行无损检验人员的能力有关。因此，对进行在役检查的无损检验人员应该按认可和批准的书面程序考核。



法国反应堆压力容器自动检查机

（撰写：李一清 审定：曹关平）

zaiyi quwu

在役去污 decontamination in operation 对处于在役状态的受污染系统、部件和设备等的去污过程。这种去污一般在对运行中的设备进行检查维修的情况下进行。去污的目的是保持设备的性能和降低工作人员的受照剂量。如核电厂反应堆运行中，由结构材料腐蚀生成的微量腐蚀产物，被冷却水带到堆芯经中子照射后活化，其中部分被活化的腐蚀产物吸附和积聚于主回路管道的内表面，导致工作人员受照剂量增加，因而需要通过在役去污来降低辐射影响。在役去污时应选择热稳定性、辐照稳定性好和对系统、设备腐蚀性小的去污剂，这样既有高的去污效率，又能保证系统、设备的完好，产生的废物尽可能少。在役去污应在保证正常生产的条件下，有计划、有准备地实施。

（撰写：王显德 审订：孙东辉）

zailiyong

再利用 reuse 回收利用放射性比活度或表面污染水平达到审管部门规定的清洁解控水平的工具、设备、材料和建筑物的过程。核设施运行、维修和退役中有大量被轻微污染的工具、设备、材料和建筑物，经过去污或清除，其放射性水平可达到或低于审管部门规定的清洁解控水平。为了有效利用资源、减少废物产生量，应尽量进行回收利用。其中达到无条件清洁解控水平的，可无限制的再使用；只达到有限制利用的清洁解控水平的，只能在审管部门批准的范围内（如核工业系统或核设施内部）使用。再利用的清洁解控水平通常用放射性比活度 (Bq/g) 或表面污染水平 (Bq/cm^2) 表示。

（撰写：孙东辉 审订：王显德）

zaishi wendu

再湿温度 rewetting temperature 水沿炽热表面流动时开始能与热表面直接接触的最高壁面温度（即最低膜态沸腾温度）。到达再湿温度以后，传热模式由膜态沸腾转向液体直接与壁面接触的泡核沸腾，热表面温度急剧下降。

（撰写：马昌文 审订：李金才）

zaixuanfu

再悬浮 resuspension 沉积的逆过程。沉积于下垫面上的放

射性核素在流速大于临界流速或其他扰动下而重返到大气中或水中，此过程称之为再悬浮。对再悬浮过程进行计算时，通常要用平衡态经验方法测量再悬浮系数。再悬浮系数 $R_s(m^{-1})$为大气或水中放射性核素的活度浓度与其下垫面的面活度之比值，即

$$R_s=\frac{\text{空气中活度浓度}(Bq/m^3)}{\text{下垫面的面活度}(Bq/m^2)}$$

（撰写：张永兴　审订：陈竹舟）

zaixunhuan

再循环　recycling　将经过净化处理达到国家审管部门规定的清洁解控水平的材料返回生产流程的过程。在核设施运行、维修和退役中有大量被轻微污染的材料（如钢铁、铝、铜等），经去污或清除后，其放射性水平可达到或低于审管部门规定的再循环清洁解控水平。为了有效利用资源、减少废物的产生量，应尽量把它们返回生产过程（如金属回炉冶炼，混凝土破碎后再用作骨料），重新制成有用的材料。再循环的清洁解控水平用放射性比活度(Bq/g)表示。

（撰写：孙东辉　审订：王显德）

zaiti

载体　carrier　能载带某种微量的物质共同参与某种化学或物理过程的另一种物质。放射化学研究中核衰变和核反应过程生成的元素的量通常极少，大约为 $10^{-8}\sim10^{-12}$ g。因此不能用处理常量物质的化学方法进行分离。为了克服这些困难，可引入载体，使微量物质与载体一同进行分离。为保证载体对微量物质的载带，要设法使它们处于相同的化学状态，使得在化学或物理过程中有相同的行为。在放射化学分离中载体可分为同位素载体和非同位素载体。载体是微量物质的同位素时，称为同位素载体，如从裂变产物中分离 ^{140}Ba 时，加入可溶性钡盐即为同位素载体。当欲分离的核素没有稳定核素可作为载体使用时，则采用化学性质相近的物质，称为非同位素载体，如分离 ^{99}Tc 时使用的铼，分离 ^{147}Pm 时使用的镧。

（撰写：郭景儒　审订：崔安智）

zanshixing biqian

暂时性避迁　temporary relocation　核事故应急响应的长期防护行动之一，系指人们从受放射性污染的地区临时迁出，以避免慢性的辐射照射。暂时性避迁与撤离不同，主要是采取搬迁行动所需的时间不一样。暂时性避迁的紧迫性比撤离要小。暂时性避迁可作为撤离的延长来采取，或者可在事故发生后几周或几个月的释放后阶段中引入，以减少地面沉积放射性物质产生的外照射，并作为补救行动来实施。随着时间的流逝，放射性衰变和自然过程（例如雨水冲刷、风化）会降低最初指定进行暂时性避迁地区的污染，容许人们返回这一地区和（或）恢复在该地区的活动。可以用一些补救措施（包括土地和资产的去污），来缩短暂时性避迁的时间。有两个因素影响暂时性避迁的时间长短。首先是经济考虑，应该考虑继续进行暂时性避迁的有关费用与永久性再定居的费用的比较。其次是社会考虑，即长时间的暂时性避迁期间会使受影响的人们普遍产生焦虑和不满情绪，这可能导致劳动生产力的损失以及公众健康等问题，甚至可能缩短人们的预期寿命。暂时性避迁一般不能长于一年。

（撰写：施仲齐　审订：陈竹舟）

zaoxue ganxibao yizhi

造血干细胞移植　hematopoietic stem cell transplantation (HSCT)　患者造血或免疫功能极度低下或衰竭，对其移植供体正常的造血干／祖细胞(HSC/HPC)，移植后 HSC/HPC 定居或归巢到受体骨髓中增殖分化，植活以重建造血和免疫功能的一种医疗方法。HSCT 是各种恶性血液病、恶性肿瘤、重症遗传性免疫缺陷病和大于 9 Gy 照射引起骨髓型急性放射病(ARS)的有效治疗方法。根据 HSC 来源不同分成骨髓移植(BMT)、外周血造血干细胞移植(PBSCT)、脐血造血干细胞移植(NCSCT)等。BMT 在 HSCT 领域中占重要地位。供体可选择同种基因、同种异基因和自体骨髓。输注有核细胞数达到 3×10^8/kg 为宜。HSCT 植活后发生移植物抗宿主病(GVHD)是主要的并发症，因此防治 GVHD 是 BMT 成败的关键，也就使 BMT 在 ARS 治疗应用中受到了极大的限制。PBSCT 方法简便易行，造血重建速度较快，但正常人 PBSCT 数量很少，需经细胞因子等动员剂动员或体外扩增，使 CD_{34} (CD 为人类白细胞表面分类抗原）细胞数 $\geqslant 2\times10^6$/kg 来保证 PBSCT 顺利植活。脐血中的 HSC/HPC 其数量和质量与骨髓相似，来源广泛，淋巴细胞毒反应较低，近年来发展较快，许多国家相继建立了脐血库。

（撰写：周剑影　审订：李延义）

zengqiang fushe wuqi

增强辐射武器　enhanced radiation weapon　见中子弹。

zengqiang X shexiandan

增强 X 射线弹　enhanced X-ray weapon　一种增大 X 射线输出并改变其频谱的特殊性能氢弹。在海拔 100 km 以上高空爆炸的百万吨 TNT 当量级氢弹，由于高空大气十分稀薄、爆炸能量的 70 %～80 % 以 X 射线形式释放。X 射线照射到来袭导弹后，其较软（光子能量较低）部分在弹头壳体烧蚀层中被吸收，使烧蚀层被烧蚀，这样，弹头在再入大气层时就将因失去保护而遭到毁坏，同时巨大能量在壳体薄层中的沉积将产生高温高压，形成热激波，引起弹头壳体层裂或壳体结构破坏。其较硬的 X 射线将穿透壳体，可使焊点熔化，使内部重金属制成的导线或核装置内的炸药与裂变材料熔化。X 射线与导弹系统相互作用还将在系统结构中激发出电子、在系统内部或外部产生瞬时电磁脉冲，称为系统电磁脉冲。系统电磁脉冲对导弹的电子系统将产生瞬时电流、过电压，引起瞬时干扰或对半导体元器件和集成电路的永久性破坏。这种武器的设计原则是尽量增大爆炸输出能量中的X射线能量份额，并通过改变X射线的频谱来调节破坏机制。美国为“卫兵”反洲际弹道导弹防御系统的斯巴坦(Spartan)导弹研制的核战斗部 W71 就是增强 X 射线弹（参见美国增强 X 射线弹 W71）。

（撰写：郑绍唐　审订：徐逖新）

zhayao qudong cilinjie shiyan

[炸药驱动] 次临界实验　sub-critical experiment　带裂变材料的爆轰流体动力学实验，裂变材料的用量以不发生自持的链式裂变反应为限（即实验中裂变系统处于次临界状态）。这是在全面禁止核试验条约谈判过程中出现的有特定含义的用语，不同于核反应堆物理中的静态次临界实验。次临界实验可以是研究裂变材料在炸药产生的高压动载条件下的材料特性（如状态方程、本构关系、表面喷射及材料产生层裂及破坏的特性等）的实验，也可以是用接近武器构形的实验装置研究

真实材料（主要是裂变材料钚）在极端温度、压力条件下的行为、如库存老化后材料是否会发生影响武器性能变化等的实验。这些研究都从不同角度考核、校正整体计算程序包，使它具有更强的评估武器性能的能力。1995年8月4日美国政府公布的能源部JASON顾问小组研究报告的《摘要与结论》中称：含炸药与裂变材料的不达到临界的实验对于增进我们对武器材料在相关物理条件下的性质的了解是有用的。它们应当包括在符合《全面禁止核试验条约》的活动之内。美国能源部声称，次临界实验有两个目的：(1) 获得关于老化核材料动力学性质的进一步知识，以及对核武器新的制造技术对核武器性能的影响作出评价；(2) 保持美国核试验场在随时可使用的状态。在禁核试条约签订后，美国和俄罗斯都宣布进行了很多次次临界实验，并宣称，在这些实验中没有引发自持的链式核裂变反应，也没有产生核威力，因此符合1996年签订的《全面禁止核试验条约》。

在《全面禁止核试验条约》谈判过程中曾出现过“零威力核试验”一词，开始时其含义并不明确，后来逐渐清楚它就是指次临界实验一类的活动。

（撰写：郑绍唐　审订：刘恭梁）

zhaishu tiaojian

窄束条件　narrow-beam condition　又称好几何条件。描述辐射在介质中被减弱的一种条件，在该条件下辐射场不包括散射辐射。经准直器严格准直的辐射束可视为理想的窄束。设想将一厚度为d的吸收板置于准直单能γ辐射源与探测器之间，且探测器前也在同一方向上设有准直器，则到达探测器的γ光子数I与无吸收体时的γ光子数I_0之比为

$$I/I_0 = e^{-\mu d}$$

式中 μ 为该种材料对相应能量γ射线的线减弱系数。由此可知，窄束条件下辐射场按简单的指数规律减弱，其物理意义是：当窄束γ射线穿越介质时，每种相互作用过程通过吸收或偏离探测器方向的散射使γ光子离开射线束，因而不能到达探测器，只有未发生相互作用的γ光子才能到达探测器；μ 就是γ光子在该介质中一个平均自由程长度内发生各种相互作用的概率之和（即γ光子从射线束中消失的概率）。对于实际的γ辐射场，在不考虑散射辐射时，描述辐射场的量（如注量、能注量等）的数学解析式均可表示为初级辐射（未散射辐射）的指数减弱函数，所处理的辐射减弱问题只对初级辐射场求解。若γ射线的能量足够低，介质的原子序数足够高，康普顿散射截面非常小，就可以考虑按窄束条件下的指数减弱规律处理。　（撰写：徐明达　审订：陈明焌）

zhanbo fangdaqi

斩波放大器　chopping amplifier　又称调制型直流放大器。把被测量的直流信号，通过调制器调制成交流信号，利用交流放大器进行放大，再经过检波器把交流信号还原为直流信号。和直流耦合放大器比较，这种斩波放大器一般具有较小的零点漂移。　（撰写：李　政　审订：席德明）

zhankong xishu

占空系数　duty factor　脉冲工作的器件或设备的实际工作时间与总时间之比。如某个器件或设备的占空系数为0.01，表明它只在百分之一的时间里工作，其余时间用于储能。已知某个器件或设备的脉冲宽度和脉冲重复频率，把两者相乘，就得到该器件或设备的占空系数。

（撰写：罗应雄　审订：王传英）

zhanlüe daodan budui hebaozha guance peixi

战略导弹部队核爆炸观测配系　nuclear burst observation-post system for strategic missile forces　战略导弹部队为获取核爆炸信息而部署的核观测报知系统。主要目的与任务是迅速、准确地查明战区范围内遭核武器袭击情况，提供核爆炸的时间、地点、威力和爆炸方式，估算、预报核爆炸瞬时毁伤和放射性沾染的情况，为作战指挥和组织部队防护提供依据。战略导弹部队的核爆炸观测配系在战术地幅内可由数个核观测哨构成；在战区范围内可由要地核观测哨、雷达网、电磁脉冲站、次声站以及地震台网等构成。核观测哨是配备有核爆炸探（观）测仪和通信器材的观测核武器袭击情况的哨所，由核观测分队开设。　（撰写：高　缨　审订：毛用泽）

zhanlüe hewuqi

战略核武器　strategic nuclear weapon　用于执行战略任务的核武器。一般由威力较高的核武器和射程较远的投射工具组成。可分为战略进攻性核武器和战略防御性核武器。战略进攻性核武器有：陆基洲际弹道核导弹，潜基弹道核导弹和携带核炸弹及巡航导弹等的战略轰炸机等（见图）。美、俄的战略进攻性核武器就是由这三支核力量组成的三位一体系统。战略防御性核武器一般是指反弹道导弹的导弹核武器，例如，俄国部署的“橡皮套鞋”反弹道导弹核导弹系统。战略核武器的作用距离可远至上万千米，核战斗部的威力多数为几十万吨TNT当量，也曾部署过上千万吨TNT当量的核武器。从20世纪60年代至80年代末，美、苏的战略核武器逐步地实施了小型化和多弹头化，并显著提高了武器系统的生存能力、突防能力和摧毁硬目标能力。20世纪90年代初随着冷战时代的结束，美、苏（俄）先后于1991年7月签署了《美苏关于削减和限制进攻性战略武器条约》（START-Ⅰ），于1993年1月签署了《美、俄关于进一步削减和限制进攻性战略武器条约》（START-Ⅱ），开始逐步地削减部署的战略核武器。尽管如此，美、俄现有的战略核武器仍占全世界战略核武器总数的90％以上。



我国的战略核武器

（撰写：王连奎　竺家亨　审订：郑绍唐）

zhanshu hewuqi

战术核武器　tactical nuclear weapon　用于支援陆、海、空战场作战，打击对敌方军事行动有直接影响的目标的核武器。战术核武器一般威力较低，多数为几千吨或万吨TNT当量级，作用距离一般为几十千米至几百千米。战术核武器的类型有：近程地地核导弹、核航空炸弹、舰舰和舰空核导弹、反潜核导弹、核鱼雷、核深水炸弹、核炮弹、核地雷等。美、苏、英、法在原子弹研制成功之后，开始发展和部署战术核武器。同时为适应各种作战使用要求，美、苏等研制过特殊性能的战术核武器，例如，中子弹和冲击波弹等。1987年12月8日，



美国装备 W-45 核战斗部的“小约翰”短程战术弹道导弹

图出处：Gibson, James N. Nuclear Weapons of the United States, Schiffer Publishing ltd. 1996

美、苏签署了《消除两国中程和中短程核导弹条约》，战术核武器的部署数开始呈下降趋势。20 世纪 90 年代初，美、苏的领导人分别重申，各自单方面拆除和销毁一些战术核武器，使战术核武器有较大幅度的削减。

（撰写：王连奎　兰家亨　审订：郑绍唐）

zhaoshe

照射　exposure　有时又称受照。暴露于电离辐射之下，直接电离粒子、间接电离粒子或二者混合组成的一切辐射称为电离辐射。直接电离粒子是指具有足够的动能，碰撞时能引起电离的电子、质子、α 粒子、重离子等带电粒子。间接电离粒子是指与物质相互作用时能产生直接电离粒子的中子、光子等中性粒子。照射是客观存在的，在人们认识辐射以前，早已受到了辐射的照射。在自然界中有宇宙射线与天然放射性物质的辐射照射。随着人类实践活动的增加，照射来源也在不断增加。除了天然存在的照射外，还有不是直接为利用辐射而伴有辐射照射的实践产生的照射（如燃煤电站）和直接为利用核能或辐射的实践产生的照射（如医疗照射、核电厂）。

（撰写：宣义仁　审订：杨华庭）

zhaosheliang

照射量　exposure (X)　dQ 除以 dm 而得的商，即

$$X=\mathrm{d}Q/\mathrm{d}m \quad (1)$$

式中 dQ 为光子在质量为 dm 的空气中释放出来的全部电子（负电子和正电子）完全被空气所阻止时，在空气中所产生的任一种符号的离子总电荷的绝对值。照射量的单位为库仑每千克（$\mathrm{C\cdot kg^{-1}}$）。俄歇电子所产生的电离不包在 dQ 之中。由放射过程发射的光子即韧致辐射和荧光光子产生的电离也不包括在 dQ 之中。若无这种差别（这种差别只有在高能时才是显著的），按上述定义，照射量和空气比释动能的电离相类似。照射量也可用公式（2）表示，即

$$X=\frac{e}{W}\int \Phi_E\,\Phi_E\,E\frac{\mu_{\mathrm{tr}}}{\rho}\,(1-g)\mathrm{d}E \quad (2)$$

式中 e 为基本电荷；W 为在空气中每形成一对离子所消耗的平均能量；Φ_E 为光子能量 E 的注量分布；μ_{tr}/ρ 为空气中的质量能量转移系数；g 为在放射过程中光子在空气中损失而释放的电子的能量分数。照射量的非国际单位制单位名称为伦琴（R），现已不再使用，1 R=2.58 × $10^{-4}\mathrm{C\cdot kg^{-1}}$。

（撰写：董柳灿　审订：潘自强）

zhaoshelianglü

照射量率　exposure rate ($\dot{X}$)　dx 除以 dt 而得的商，即

$$\dot{X}=\mathrm{d}x/\mathrm{d}t$$

式中 dx 为在时间间隔 dt 的照射量的增量。照射量率的单位为库仑每千克秒（$\mathrm{C\cdot kg^{-1}\cdot s^{-1}}$）。

（撰写：董柳灿　审订：潘自强）

zhaoshe tujing

照射途径　exposure pathway　放射性核素进入环境后，能够到达或者照射人体的途径，分为浸没外照射、沉积外照射、吸入污染空气造成的内照射、食入污染的蔬菜、水果、粮食等造成的内照射，以及食入在污染区域生长的动物产品（肉、奶、鱼、蚌等）造成的内照射等。图 1 是气载排放的照射途径框图，图 2 是水载排放的照射途径框图。

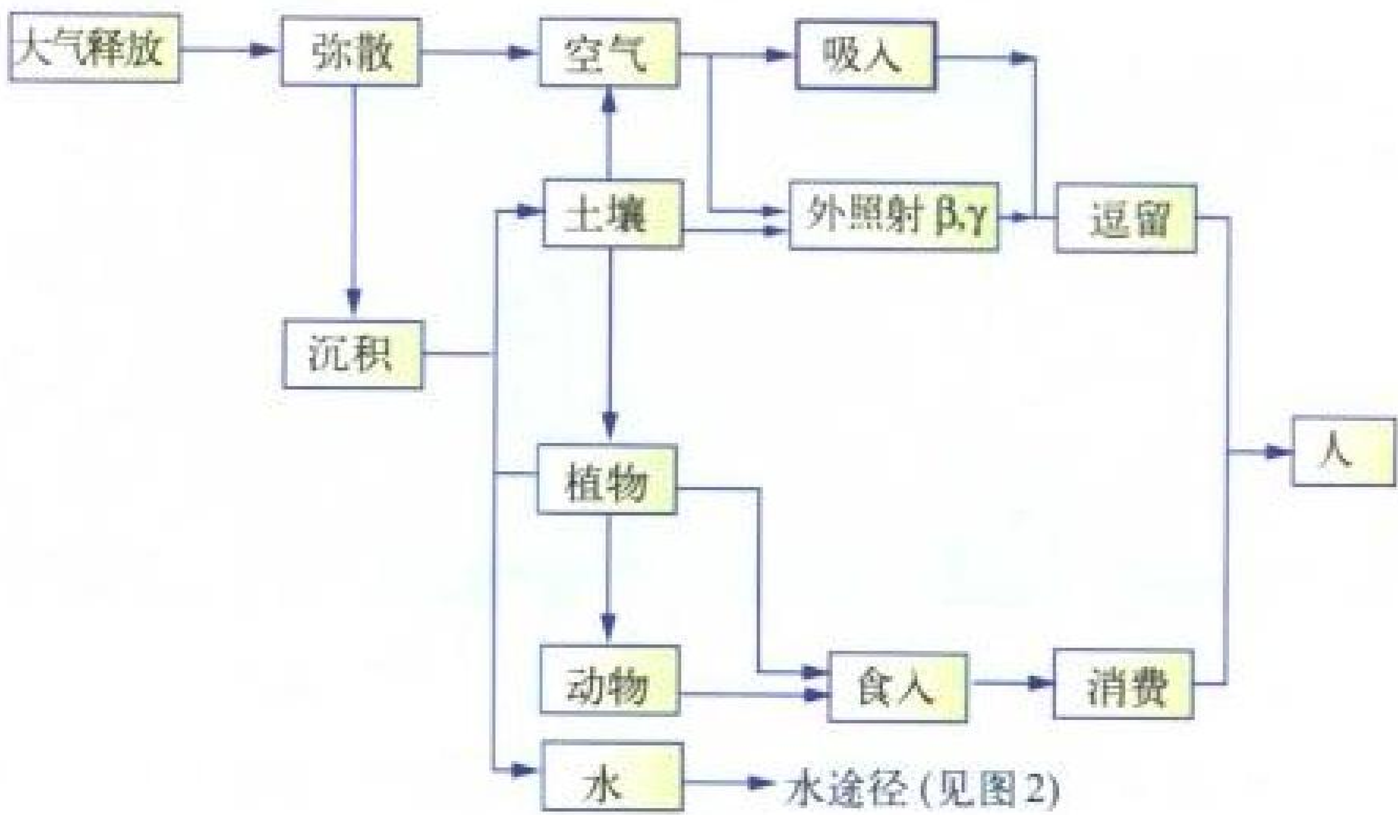


图 1　气载排放的照射途径框图（库室模型）

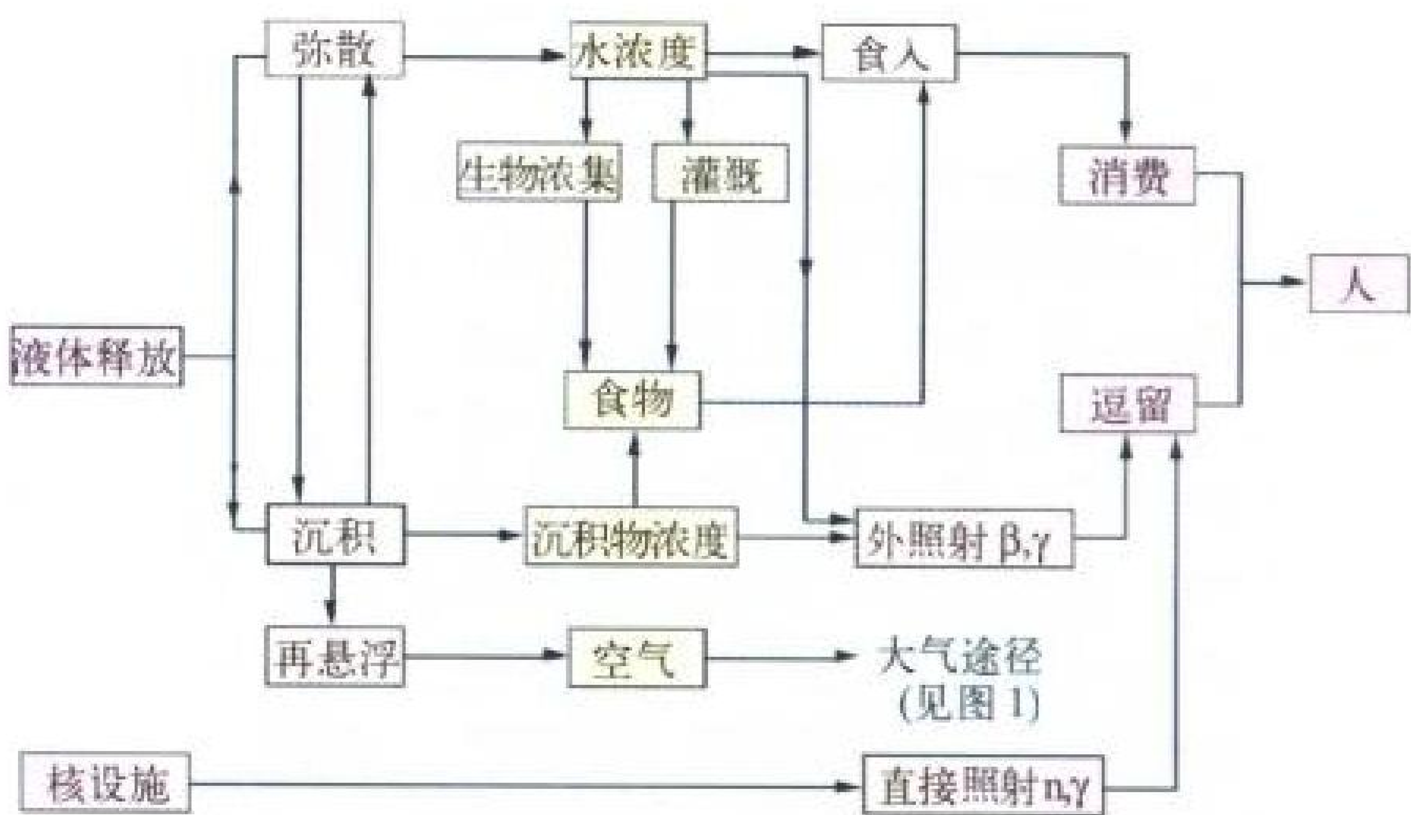


图 2　水载排放的照射途径框图（库室模型）

（撰写：张永兴　审订：陈竹舟）

zhenjiaoti

真胶体　real-colloid　见放射性胶体。

zhenkong dianlishi

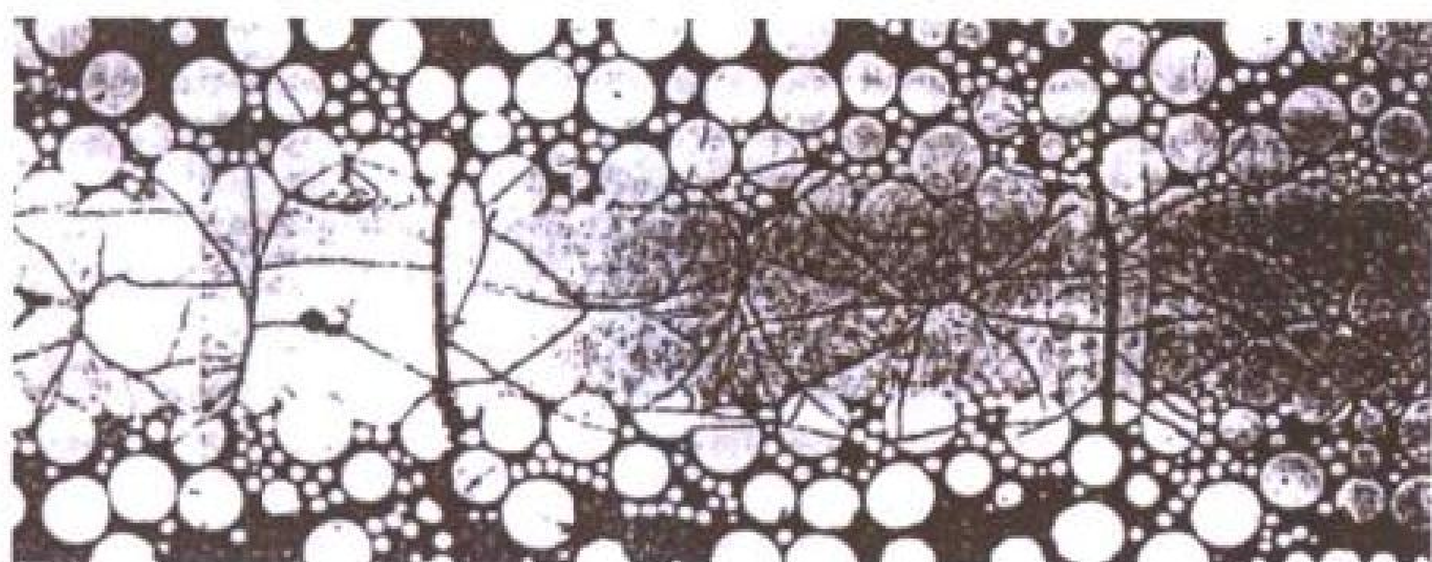
真空电离室　vacuum ionization chamber　又称次级发射探测器。其结构与一般电离室基本相同，但室内保持真空的辐射探测器。在真空室中，带电粒子从室壁发射并为外加电场收集从而产生电流。若在室内的一电极上涂覆一层裂变物质，中子与其发生裂变反应并发射裂变碎片，在另一个加以适当电压的电极上就会收集这些裂变碎片，从而可测量诸如核反应堆中的强中子注量率（又称裂变真空室）；若真空室中的一电极为重金属做成；而另一电极为普通钢做成，则 γ 射线与在电极上产生的康普顿等次级电子，为另一电极收集（又叫康普顿二极管），在核爆现场它常被用来检查 γ 射线。真空电离

室的室内不产生电离，因而它的电流比充气电离室小得多，所以这种探测器只适用于极强的中子或γ射线场中。

（撰写：彭华寿　审订：陈玉华）

zhendong mishi ranliao

振动密实燃料　vibro-compacted fuel　采用振动填充法使装入燃料元件包壳的燃料微球达到密实的燃料形式。与芯块燃料相比，这类燃料具有两个特点：燃料由湿法工艺生产，可实现远距离制造，有利于操作人员的辐射防护；缓解燃料—包壳机械相互作用（见图），减少燃料棒破损，使燃料达到更高的燃耗。燃料微球［UO_2，$(U,Pu)O_2$或$(Th,U)O_2$］可采用水萃取凝胶、外凝胶、内凝胶和熔盐电解—球磨法制取。按大（1 mm）、中（100 μm）、小（10 μm）3种（或4种）粒度配比，把



辐照引起的振动密实燃料的中央空洞和径向裂纹

微球装入锆合金（或不锈钢）包壳管，同时借助电磁振动器振实，制成具有一定有效密度的轻水堆或快中子堆燃料棒。振动密实燃料已在俄罗斯　БОР–60实验快堆上得到应用。

（撰写：李文埃　审订：张忠岳）

zhengcanye

蒸残液　evaporator bottom residues　又称蒸发残渣。废液蒸发过程产生的最终残留浓缩物。核燃料循环中的蒸残液，就其来源和性质可以分为：（1）高放蒸残液，主要是核燃料后处理厂共去污萃余液的蒸发—脱硝蒸残液，含有乏燃料中99%以上的裂变产物和少量锕系元素。通常后处理1 t乏燃料产生400 L左右高放蒸残液，高放蒸残液通常进行玻璃固化，使其转化为稳定的玻璃体；（2）含超铀核素的低、中放蒸残液，主要是后处理厂和钚加工处理厂产生的长寿命放射性核素浓度大于安全监管机构规定限值的低、中放蒸残液。对这类废液进行处理，回收超铀核素，不仅能获得经济效益，还可使其转化成非长寿命放射性蒸残液；（3）短寿命核素的低、中放蒸残液，主要是核电厂、放化实验室、同位素生产和应用过程产生的低、中放蒸残液，通常可直接进行固化处理。

（撰写：骆大星　审订：孙明生）

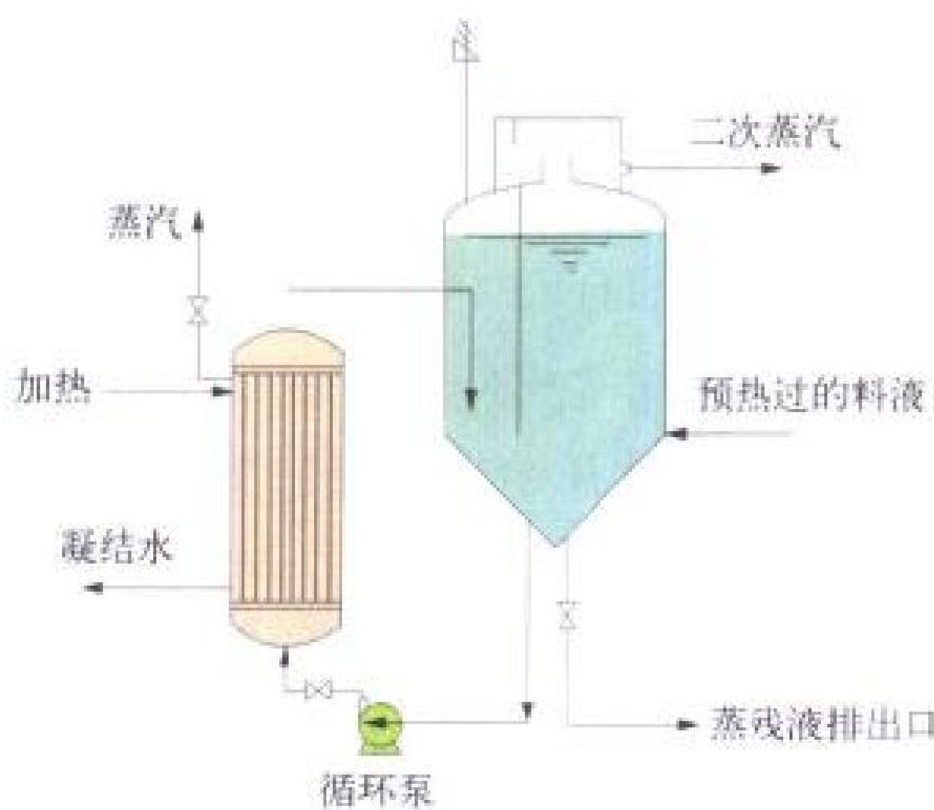
zhengfa moxing

蒸发模型　evaporation model　基于复合核形成与衰变无关的基本假设的一种复合核反应的理论。该理论于1937年由韦斯科夫提出。在热平衡各态历经假定下，由细致平衡原理可以得到复合核在一定激发能下发射各种能量的粒子的发射概率的表示式。出射粒子发射谱由吸收截面与发射概率的乘积给出。蒸发模型是最简单的复合核反应模型。这一模型中没有考虑核反应过程中的角动量守恒和宇称守恒，因而出射粒子角分布为各向同性，与很多的实验事实不符，被以后发展的其他理论所补充。

（撰写：张竞上　审订：许谨诚）

zhengfa nongsuo

蒸发浓缩　concentration by evaporation　放射性废液处理中借助于外加热将溶液中的溶剂大量汽化使溶液浓缩的过程。在蒸发处理放射性废液的过程中，水不断汽化成二次蒸汽，由于废液中易挥发的放射性核素和二次蒸汽的雾沫夹带，使二次蒸汽带有少量放射性核素。常采用旋风分离器、泡罩塔或不锈钢丝网填料塔等设备分离二次蒸汽中的夹带物，然后进行冷凝。当冷凝液的放射性浓度大于允许排放值时，可再用离子交换、电渗析等方法处理，使其达到排放标准后复用或稀释排放。蒸残液则进行固化处理。蒸发法适用于处理含盐量高的放射性废液，配备有高效除雾沫装置的蒸发系统的去污因数可达$10^5 \sim 10^6$。蒸发浓缩倍数取决于废液的化学组成，特别是总固体含量。蒸发法处理放射性废液常遇到腐蚀、结垢和发泡等问题，有时需要除去有机物质以避免爆炸危险。可在蒸发过程中投加醇类、硅酮类或酰胺类消泡剂或采用喷射、破碎等方式消除泡沫。蒸发器要定期清洗和除垢，以保持良好传热效率。蒸发器有自然循环或强制循环蒸发器（见图）、压缩蒸发器、釜式蒸发器、升膜（或降膜、擦膜）式蒸发器、急骤（闪蒸）蒸发器和红外线蒸发器等。蒸发法也广泛用于其它浓缩、分离过程。



强制循环蒸发器示意图

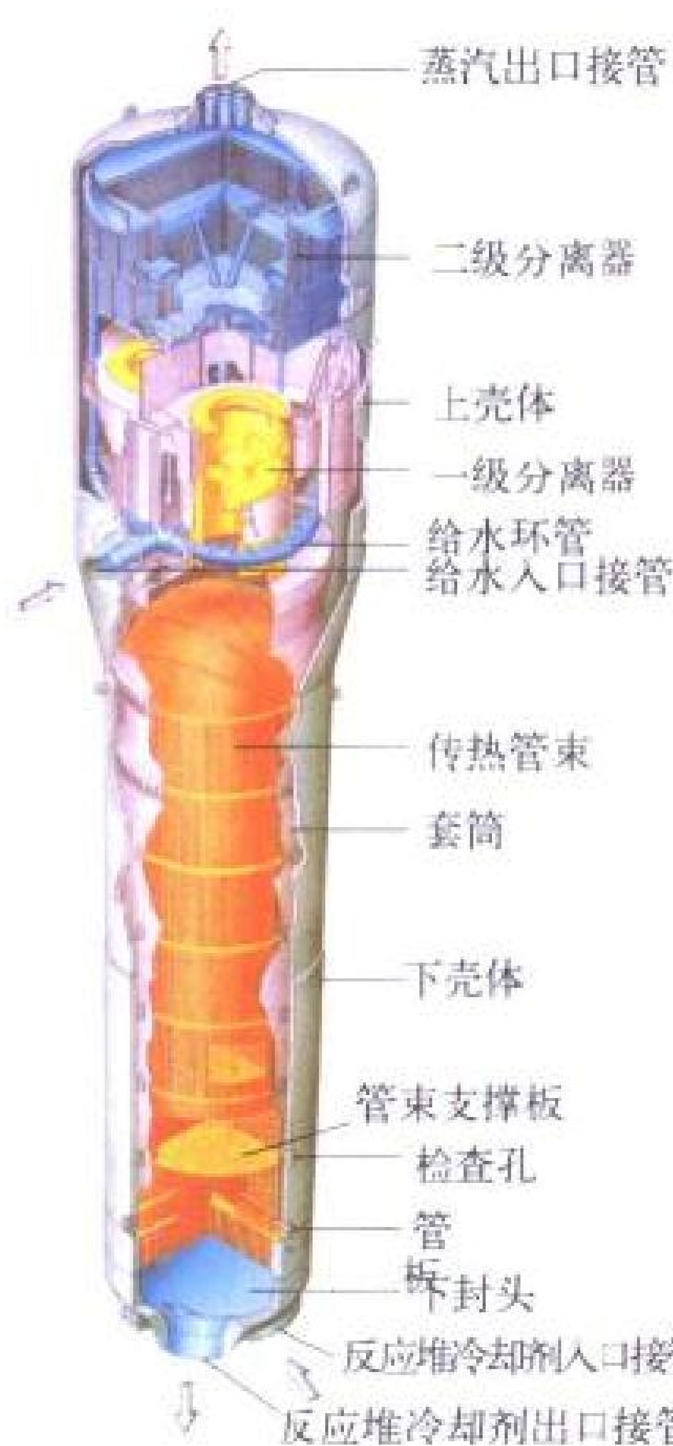
（撰写：骆大星　审订：孙明生）

zhengqi chongzhengqi

蒸汽重整器　steam reformer　见汽水分离再热器。

zhengqi fashengqi

蒸汽发生器　steam generator (SG)　采用间接循环的反应堆动力装置中把反应堆冷却剂从堆芯获得的热能传给二回路工质使其变为蒸汽的热交换设备（见图）。反应堆动力装置的蒸汽发生器有两类：一类是直流式蒸汽发生器；另一类是带汽水分离器的自然循环式蒸汽发生器。前者的特点是二次侧工质一次流过传热面，先后经预热、蒸发和过热产生过热蒸汽。而后者的二次侧工质在传热面外形成自然循环。自然循环式蒸汽发生器又分为立式和卧式两种，压水堆核电厂大都采用倒置U形传热管立式蒸汽发生器（见图）。U形管的材料为18–8不锈钢、因科镍（Inconel）合金或因科洛依



压水堆蒸汽发生器剖视图

(Incoloy) 合金。反应堆冷却剂在 U 形传热管内流动；二次侧工质在管外预热、蒸发。产生的饱和蒸汽经汽水分离器和干燥器，其干度应达到 99.75% 以上。

（撰写：杜圣华　审订：张维忠）

zhengqi fashengqi chuanreguan cailiao

蒸汽发生器传热管材料　materials for heat transfer tube of steam generator　用作蒸汽发生器传热管的材料。它应具有良好的抗均匀腐蚀和抗应力腐蚀破裂的性能、良好的机械性能、导热性能和良好的加工性能以及焊接性能。传热管材料有 18-8 不锈钢、Inconel-600 合金、Incoloy-800 合金和 Inconel-690 合金。18-8 不锈钢（AISI 304，316 和 347）在有氯化物或氧的介质中容易产生应力腐蚀。Inconel-600 合金虽具有良好的抗氯离子应力腐蚀的性能，机械性能也比不锈钢好，但缺点是在碱性溶液中会发生苛性应力腐蚀破裂。Incoloy-800合金的抗腐蚀性能与 Inconel-600 没有显著差别，但在纯水中没有晶间腐蚀倾向。Inconel-690 合金管是新研制的，其耐高温水应力腐蚀性能更为优良，已被使用，合金管的最终状态为冷变形加表面喷丸处理。

（撰写：张裕林　审订：杜圣华）

zhengqi fashengqi chuanreguan polie shigu

蒸汽发生器传热管破裂事故　steam generator tube rupture accident (SGTR)　压水堆核电厂中由于蒸汽发生器传热管破裂、一次侧冷却剂通过破口进入二次侧形成的事故。事故发生后，因破口小，高压安全注射可以弥补一回路的喷放流量，使堆芯不致裸露而保持得到冷却的状态。蒸汽发生器二次侧压力上升后，将从释放阀及安全阀排出蒸汽和水，并伴随着向环境排出放射性物质。蒸汽发生器水位升高最后可能导致满溢。满溢后，液体水从释放阀及安全阀流出。这样，会损坏这些阀门，诱发阀门卡在开启位置。液体水注入蒸汽管道又可能使蒸汽管道受到过大应力而损坏或破裂，形成更严重的事故。为避免满溢和缓解事故，操纵员必须及时采取相应措施。蒸汽发生器传热管破裂事故在国际核电史上已发生多起，成为发生频率最高的极限事故。各核电国家正在研究措施，降低它的发生频率，并试行将此事故列为稀有事故（参见核设施状态分类），更严格地限制事故后的放射性物质释放。

（撰写：俞尔俊　审订：陈叔平）

zhengqi panglufa

蒸汽旁路阀　steam by-pass valve　在核电厂的汽轮发电机突然减负荷或脱扣情况下以及蒸汽品质达不到要求时排走蒸汽发生器内过量蒸汽的阀门。它是为适应核电汽轮机组的启、停和事故处理的需要而设置的。在压水堆核电厂中，蒸汽旁路阀由一个常开的手动隔离阀和一个气动控制阀组成，并由多套具有同样功能的阀组构成整个蒸汽旁路系统。蒸汽旁路阀的总排放容量一般都在 50%～75% 额定蒸汽流量范围内。核电汽轮机组的蒸汽旁路阀通常向凝汽器和除氧器排放蒸汽。

（撰写：信天民　审订：范　刚）

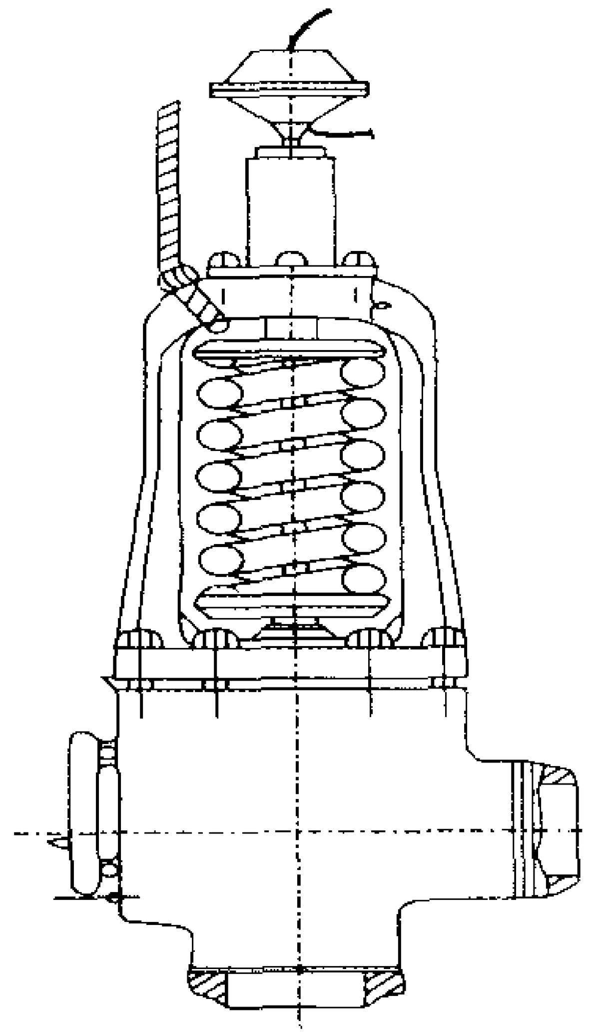
zhengqi suguanfa

蒸汽速关阀　fast-closing steam isolation valve　为防止核电厂的汽轮机超速，在汽水分离再热器与低压缸之间的蒸汽管道上以及在低压给水加热器的抽汽管道上设置的快速蝶阀（大多为两个蝶阀串联）。这种阀门关闭时间不超过 5 s，这样可以将汽轮机超速限制在 6% 左右。

（撰写：信天民　审订：范　刚　曹关平）

zhengqi xieyafa

蒸汽卸压阀　steam relief valve　核电厂中借助外部操作使阀门动作将蒸汽系统卸压的阀门。在压水堆核电厂中是指为防止一、二回路系统超压而设置的一个阀或一组阀。它的主要功能是：(1) 为蒸汽发生器二回路侧和主蒸汽系统提供超压保护；(2) 防止一回路超压和过热；(3) 限制蒸汽释放的数量和速率以防止堆芯过冷。蒸汽卸压阀的总排汽量一般略大于额定蒸汽量，通常卸压阀有多个，并分组设置。考虑到卸压阀要求可靠，各组卸压阀常采用不同的结构和动作方式，如加能助动式或弹簧加载式等。加能助动式卸压阀（见图）带有气动执行机构，加载压缩空气通过由电磁阀作先导的进气阀，进至执行机构膜片的上面或下面。进至膜片上面时，作为弹簧的附加载荷，将阀门关闭；进至膜片下面时，作为蒸汽压力的附加载荷，使阀门开启。如果压缩空气系统出现问题，加能助动式卸压阀可按传统的弹簧加载式卸压阀动作。弹簧加载式卸压阀不带有气动执行机构，仅仅依靠弹簧的作用力将阀门关闭。



带有气动执行机构的加能助动式蒸汽卸压阀示意图

（撰写：信天民　审订：范　刚）

zhengti pingbi

整体屏蔽　bulk shielding　用屏蔽体把反应堆本体及其一次导热系统全部包围在一起的屏蔽形式。整体屏蔽可以由多层轻核和重核材料交替组成，也可在某一中间层采用轻、重核的均匀混合或化合材料。整体屏蔽一般应用于小功率的可移动式反应堆或固定式一体化设计的核动力装置和池式快堆装置上。对于固定式装置，计算模型相对说来比较简单，在对材料采用了合理的均匀化处理后，用一维（大型装置）或二维输运程序可以得到很好的结果。对于移动式装置，其体积小、重量轻的要求突出，必须采用屏蔽设计的最优化过程。过去，为了得到更为准确的计算结果，曾进行了大量的实验测量，如美国在整体屏蔽反应堆 (BSR-1) 上进行的大量测量工作，为输运理论和它所使用的截面参数的评价提供了实验依据。相对于"阴影屏蔽"而言，有时也将完整地包围住某个辐射源的屏蔽称为整体屏蔽 (whole shield)。

（撰写：华　旦　审订：吴德强）

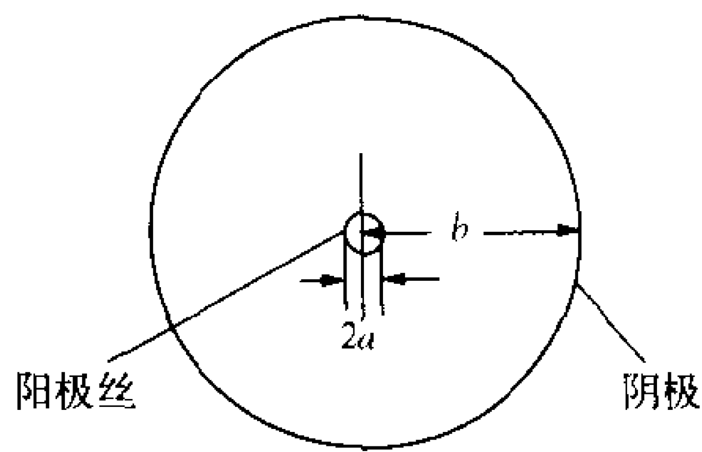
zheng β shuaibian

正 β 衰变　positive β decay　见 β 衰变。

zhengbi jishuguan

正比计数管　proportional counter　简称正比管。工作在气体放电正比区的辐射探测器。正比管有多种结构，但常用的是同轴圆柱形（见图）。其外壁为阴极，阴极材料多用不锈钢、铜或铝；在中心轴上紧拉一细阳极丝，阳极丝一般用钨丝或不锈钢丝。圆柱形容器内充以工作气体，依探测对象不同工

作气体也各异，用于测中子的有充 BF_3, ^3He, H_2 或 CH_4 等气体，用于测 α，X 射线等用惰性气体（Ar 或 Xe）加少量多原子气体（CO_2, CH_4 等）。辐射进入正比管内，因工作电压较大，使得初始总电离产生的次级电子获得足够能量，进一步电离其他气体分子，产生电子雪崩，即使气体电离得到放大（简称气体放大），通常将气体放大后的电离总数 N 与初始电离数 N_0 之比叫做气体放大系数（用 M 表示），在正比放电区内 M 值大于 1，它与初始总电离生成的离子对数无关，在某一工作电压下，正比管的输出脉冲幅度与初始总电离的离子对数成正比。正比管的坪特性较好，它能有效地用于辐射强度的测量；正比管的信噪比较大、能量分辨较好，可用于 α，β，中子及 X 射线的能量测量；正比管的放电空间有严格的局限性，可较广泛用于辐射的定位。



正比计数管剖面示意图

a—阳极丝半径；b—阴极半径

（撰写：陈玉华　审订：彭华寿）

zhengchang zhaoshe

正常照射 normal exposure　在某一辐射产生装置或源的正常运行条件下受到的照射，也包括在一些可能发生但预期可加以控制的小的意外事件中受到的照射。受到职业照射的任何个人所受的正常照射应该加以限制，以保证受到各种实践照射的总的有效剂量或总的当量剂量不超过辐射防护法规和标准规定的剂量限值。在职业照射的管理和控制方面，预期正常照射的大小是工作场所区域划分的重要依据之一。对公众中相关的关键人群组的正常照射均应加以限制，以使总的照射不超过公众成员的剂量限值。

（撰写：张延生　审订：马吉增）

zhengdianzi fashe jisuanji duanceng xianxiangyi

正电子发射计算机断层显像仪 positron emission tomography (PET)　利用正电子湮没效应（双光子）获取脏器信息的一种核医学断层显像系统。它由多环、多层面数百个探测器组成。探测器材料一般采用锗酸铋（BGO）晶体。PET 根据应用需要可分为简单临床型、临床型和科研型三大类。带正电子的放射性核素（如 ^{18}F, ^{11}C, ^{13}N, ^{15}O 等）及其标记化合物注入人体后，其正电子即与组织中的负电子结合，产生湮没辐射，发出两个能量相等（511 keV）、方向相反的 γ 光子，在体外用成对配套的探测器接收这些信息，经计算机处理就可重建出这些标记化合物在体内的断层图像，高精度地显示活体的代谢及生化活动，并获得各种参数和代谢影像。与单光子发射计算机断层显像（single photon emission computer tomography, SPECT）相比，PET 具有更高的空间分辨率；可获取全身各方位的断层影像；并提供定量分析；构成人体基本成分碳、氮、氧等元素的正电子同位素标记的放射性药物，可以在不影响内环境平衡的生理条件下研究人体的正常的生理、生化及代谢（如人体脑化学的研究），同时也可以反映异常条件下的生理、生化及代谢的改变，从而有助于疾病的早期诊断。目前 PET 主要用于肿瘤、神经精神疾病及心血管疾病的诊断。

（撰写：王荣福　审订：吕延晓）

zhengdianzi yanmo

正电子湮没 positron annihilation　正电子与电子相碰撞，一起转化为 γ 光子的过程。发出的 γ 光子称湮没辐射。一般发出两个 γ 光子，只有 0.27% 的概率发出 3 个 γ 光子。湮没过程中发出的两个 γ 光子在碰撞坐标系中的能量等于电子的静止质量 0.511 MeV，方向成 180°。正电子进入物质后，在极短的时间内（约 1 ps）动能降低而达到热平衡。在射程的末端，正电子与物质中的电子发生湮没。正电子湮没的寿命与物质的电子密度有关。发生湮没的正电子和电子对具有几个电子伏的动能，因此，实验室中两个 γ 光子的出射角与 180° 有微小的偏离，而 γ 光子的能量也因多普勒效应而变化，这两者均与物质中电子的动量分布有关。因此湮没过程反映了物质的诸多信息，测量和分析其寿命，两个 γ 光子的出射角关联与 γ 光子的多普勒展宽则构成了正电子湮没谱学，用以研究物质的微观结构（参见正电子湮没技术）。医学上的正电子发射计算机断层显像（PET）也是正电子湮没现象的一种重要应用。

（撰写：施义晋　审订：丁大钊）

zhengdianzi yanmo jishu

正电子湮没技术 positron annihilation technique　利用正电子与电子相互作用产生的湮没过程实现物质微观分析的一类技术。正电子湮没技术可分为正电子湮没寿命、湮没 γ 角关联和湮没谱线多普勒展宽测量。正电子湮没寿命与介质的物理和化学环境相关，一般采用 ^{22}Na 正电子源和 BaF_2 探测器快-快符合正电子湮没寿命谱仪进行测量；湮没辐射多普勒展宽与物质电子动量相关，常用高纯锗探测器测量；湮没 γ 角关联测量需用强放射源（10^8 ~ 10^{11} Bq 的 ^{64}Cu, ^{22}Na 等），测量装置有一维和二维角关联谱仪。二维测量能精细地测定电子动量密度分布和费密面。近年来，单能慢正电子束技术已用于表面和界面及缺陷等深度分布研究，并由此发展了正电子衍射、正电子俄歇谱仪和正电子显微镜。正电子湮没技术目前正广泛应用于材料和生命科学、物理和化学、医学等领域。特别是正电子发射断层显像已成为医学界先进的诊断手段。

（撰写：朱升云　审订：吕延晓）

zhichi huanyuanji

支持还原剂 supporting reducing agent　用于协助主还原剂达到稳定还原目的的化学试剂。水法乏燃料后处理工艺流程的第一循环中设置了铀、钚分离段，采用四价铀作为还原剂，使四价钚还原为不易萃取的三价钚，从有机相转入水相，从而实现铀、钚分离。为防止硝酸体系中三价钚发生再氧化而造成铀中除钚分离因子的下降，需要另加入支持还原剂，用以清除亚硝酸。这类还原剂具有快速清除亚硝酸的能力，如氨基磺酸、肼和羟胺，其中氨基磺酸反应速度最快，肼次之，羟胺最慢。由于氨基磺酸的反应产物有硫酸根，腐蚀性强，现代后处理厂已不使用。现代后处理工厂多选用硝酸肼。肼与亚硝酸的反应产物为 HN_3 和水。HN_3 及其金属盐有爆炸性，应控制溶液中 HN_3 浓度低于安全限值。

（撰写：何建玉　审订：朱永𬭎）

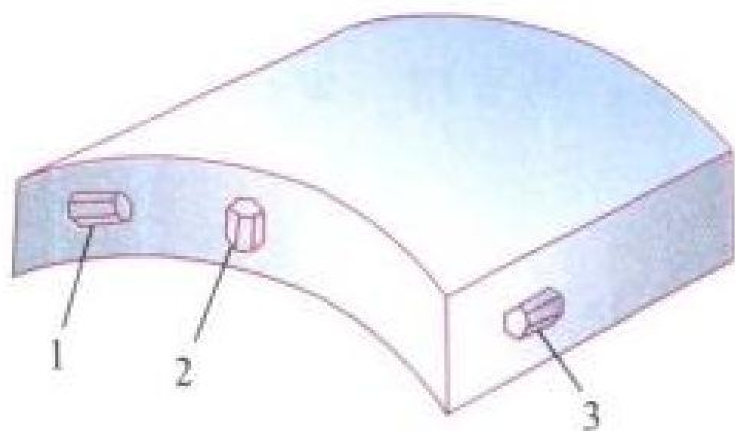
zhiduan jiliangji

肢端剂量计 extremity dosimeter　佩带在肢端部位（手、肘、前臂、脚、膝、小腿）用于测定外辐射对这些部位所产生的浅层吸收剂量或当量剂量的小型剂量计。带于手指的指环剂量计是其中最常用的一种。肢端剂量计的采用，是由于在操作

某些放射性物质或辐射源时，所遇到的主要是非强贯穿性的辐射，其操作条件却可能对操作人员的某些肢端部位产生不可忽视的或者甚至是特别重要的局部照射。例如，为了监测操作强β放射性物质时对手部的照射，常常需要佩带胶片型或热释光型的指环剂量计。（撰写：夏益华　审订：胡遵素）

zhigou

织构 texture 多晶材料的晶体在外界条件（变形、冷凝等）作用下，沿某些位向的择优取向。形变金属棒、管内形成的织构，使材料具有明显的各向异性。锆合金为六方晶体结构，其织构按（0001）晶面法线方向来定（见图）。锆合金包壳的氢化物析出、辐照生长、抗蠕变能力等均与织构有关。径向基极织构的锆合金较易获得周向排列的氢化物，周向基极织构的锆合金具有好的抗蠕变能力，而沿垂直于织构基极方向发生辐照生长。采用合理的加工工艺，控制材料的织构是改善多晶材料性能的重要措施。



锆管中织构的基本取向
1—周向基极织构；2—径向基极织构；3—轴向基极织构

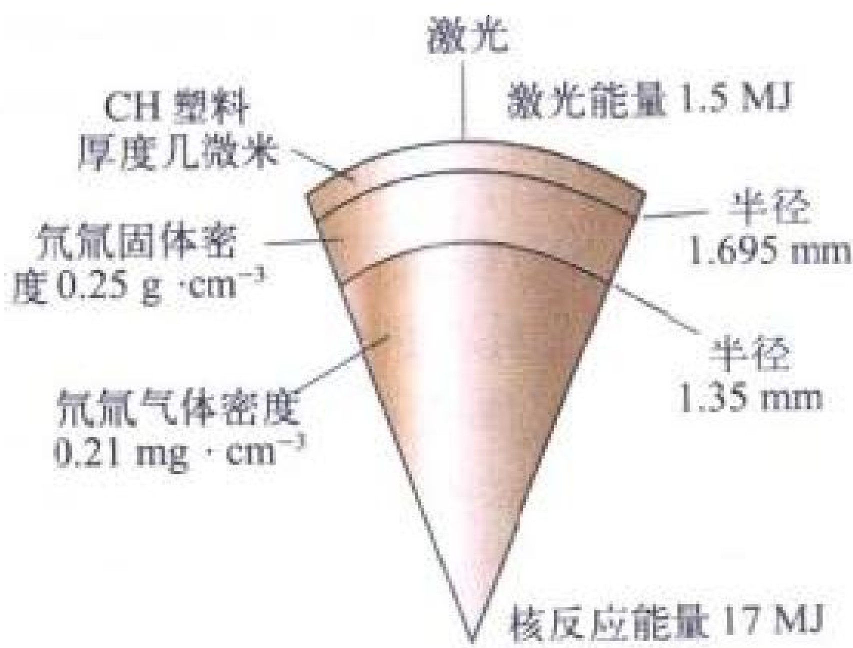
（撰写：王树人　审订：李文埮）

zhijie hefanying

直接核反应 direct nuclear reaction 入射粒子同靶核作用不经过复合核而直接生成反应产物的核反应。在这种反应过程中，只涉及到系统的少数自由度，反应进程很快，约 10^{-22}s，与入射粒子穿过靶核的时间相当。入射粒子和靶核的类型不发生变化、剩余核处在激发态的直接反应称为直接非弹性散射。如果在直接反应过程中，有一个或几个核子从入射粒子出来进入靶核，如 $^{11}B(d, n)^{12}C$ 反应称为削裂反应，入射粒子从靶核中取得一个或几个核子而形成一个复杂粒子，如 $^{12}C(n, d)^{11}B$ 反应称为拾掇反应，统称转移反应。如果入射粒子轰击靶核时直接将靶核中一个或几个核子打出来，而入射粒子的组成不变，如 (p, 2p) 反应，则称为敲出反应。此外，以 (d, pn) 为代表的破裂反应，以 (p, n) 和 (^{3}He, t) 为代表的电荷交换反应也属于直接反应。当入射粒子能量较高时，直接反应变得比较重要。直接反应出射粒子的角分布呈朝前趋势。计算直接反应的最常用的理论方法是扭曲波玻恩近似(DWBA)和耦合道理论。（撰写：申庆彪　审订：许谨诚）

zhijie qudong bawuli

直接驱动靶物理 direct drive target physics 驱动源直接辐照靶丸实现热核燃料压缩和燃烧的物理原理（见图）。直接驱动靶物理包括激光产生热等离子体、电子热传导烧蚀、内爆压缩、热核燃烧，以及驱动源的均匀辐照和内爆过程中的流体力学不稳定性等。根据不同目的的设计靶和选择驱动源功率时间曲线。靶丸通常由外壳（烧蚀层）和热核燃料组成。示意图是具有一定增益的靶丸设计。相对于间接驱动，直接驱动的能量利用效率高，但需要多束激光辐照，并有光滑化措施，各束之间要求时间同步和功率平衡。控制驱动源辐照均匀性以抑制流体力学不稳定性是成功的关键。（撰写：罗平庆　审订：常铁强）



激光直接驱动靶丸示意图
图出处：UCRL-LR-105821-97-2

zhijie shiyong de hecailiao

直接使用的核材料 direct-use (nuclear) material 不需要经过转变或进一步富集，可直接用于制造核爆炸装置部件的核材料，如 ^{238}Pu 含量低于 80% 的钚、高浓缩铀和 ^{233}U。直接使用的核材料的化合物、混合物（如 U-Pu 混合氧化物）和乏燃料中的钚也属于直接使用的核材料。

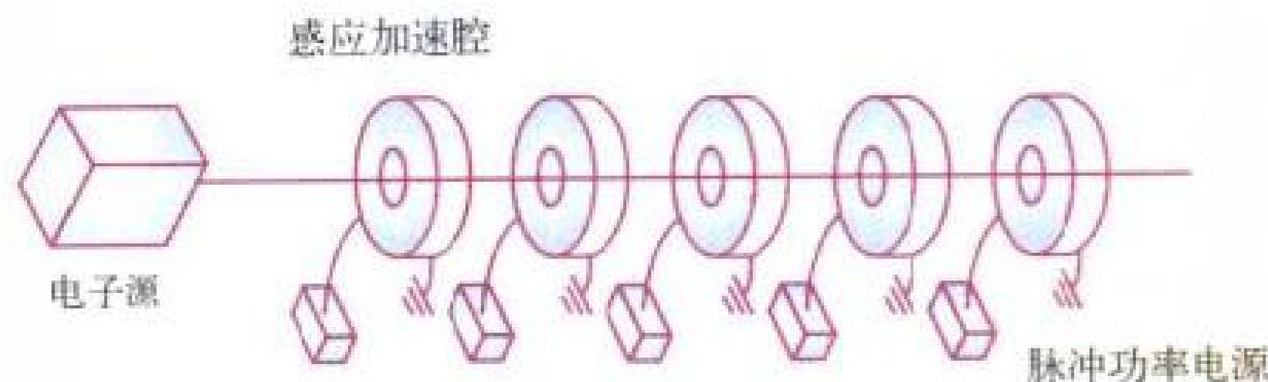
（撰写：刘大鸣　审订：严叔衡）

zhijie weixiu

直接维修 direct maintenance 也称为接近维修。对失效的放射性设备进行现场直接修理或更换。直接维修是核燃料循环设施维修方式之一，它的主要优点是投资费用较小、设备制造和安装精度要求不高，对维修技术水平要求不高；主要缺点是因维修前必须先对放射性设备和设备室作长时间去污，停产时间长，影响开工率，维修工人受照剂量较大。直接维修设备室内没有活动部件和运动部件，在整个生产周期内不需维修，设备室内设有漏液探测器、设备内外和设备室不锈钢覆面的去污冲洗管道、检修平台、梯子、屏蔽门等设施。乏燃料后处理厂从共去污循环以后的化学部分多采用直接维修方式。（撰写：王世诚　审订：郑华铃）

zhixian ganying jiasuqi

直线感应加速器 linear induction accelerator 由排列成直线的多组元电磁感应产生的电场来实现带电粒子加速的设备。直线感应加速器由电子源、感应加速腔、脉冲功率电源三部分组成，如图所示。它的工作原理可以简单看成具有变比为 1∶1 的脉冲变压器。



直线感应加速器原理图

变压器的磁芯是用铁氧体磁环或金属玻璃等高导磁材料构成的感应加速腔，初级是提供激励电流的脉冲功率系统和围绕磁芯的单匝回路，次级是通过加速间隙的电子束。利用变化的方位角磁场，感应产生变化的轴向电场，每个间隙加速电压为 250～400 kV。经过一系列加速间隙，可以把电子束加速到高能。直线感应加速器的主要技术关键在于磁芯材料的优良特性和开关系统的同步时间抖动。它的主要优点是：加速电流大（2～10 kA）、能量高（5～50 MeV）、束团脉宽长（50～100 ns）、束流品质好，并可逐级加长。

（撰写：刘锡三　审订：关遐令）

zhixiangusuo yu huanxinggusuo zhuangzhi

直线箍缩与环形箍缩装置 linear pinch and toroidal pinch 在一个充气的直管中用快速电容器组供电产生的快速放电，由于 $J \times B$ 电动力，电流通道向中心收缩，得到高温、高密度等

离子体，通常约束时间仅为数微秒。极向箍缩也是一种直线型装置，等离子体被外磁场向中心压缩。由于严重的终端损失，不久即转向环形箍缩。环形箍缩的主要方法是螺旋箍缩。外部磁体产生的环向场与快速上升的等离子体电流的极向场构成螺旋形磁力线。在被约束的主要部分（等离子体密度约$10^{20}m^{-3}$），相当多的环向电流流经外部无压等离子体。因此，在主等离子体的外侧极向磁场仍沿小半径增加，有利于稳定。

（撰写：钱尚介　审订：黄　林）

zhiye zhaoshe

职业照射 occupational exposure 除国家法规、标准所排除的照射以及按规定已予以豁免的实践或源产生的照射以外，工作人员在其工作过程中所受的所有的照射，但仅限于在正常场合下能合理地视为运行管理部门负有责任的那些情况。在工作场所内或与之有关的人工源对工作人员的照射一般均属职业性照射，除非符合辐射防护法规或标准中的排除或豁免条款。在天然源照射的组成中，由体内^{40}K、地面宇宙射线及地壳内核素引起的照射均不属于可合理控制的范围，而且一般产生的剂量很小，满足有关的排除或豁免条件，但有些天然源的照射应当包括在职业照射的范围之内。如喷气式飞机机组人员受到的宇宙射线的照射；操作和贮存通常不视为放射性物质但含有显著的痕量天然放射性核素，并经安全监管机构认定的那些物料产生的照射以及安全监管机构认定的工作场中氡的照射等。从辐射安全角度必须分清何种照射属于职业性照射，以便按照辐射防护法规和标准中有关对职业性照射的防护要求进行管理和控制。

（撰写：张延生　审订：马吉增）

zhibei

植被 vegetation 核设施关闭或退役后，对其周围环境整治时，在土壤表层上栽种的植物。植被在广义上为全球或某一地区所有植物群落的泛称，是生态系统的基础。针对受放射性污染的环境整治而言，植被又有其特定的含义，如近地表放射性废物处置场和铀矿冶厂尾矿库关闭后，在其覆盖层的表土上需栽种植物品种，以防止雨水冲刷和风蚀，破坏覆盖层。在核设施退役对其周围环境污染土壤清理后的植被是为了尽量恢复原有的自然地貌，为场址无限制开放创造条件。植被选择何种植物品种，应考虑自然、社会环境和经济等因素，例如在尾矿库覆土上栽种桑树，既保持了水土免于流失，又产生了一定的经济价值。近地表处置场的植被应选用浅根植物，以防止根系破坏覆盖层。

（撰写：王显德　审订：孙东辉）

zhiru fangshe zhiliao

植入放射治疗 interstitial radiotherapy 将特制的、封闭的小棒状放射源插植到病变组织中进行照射以达到治疗目的的治疗方法。根据植入时间的长短可将植入放射治疗分为：(1)永久性组织间插植治疗，即植入治疗，是将短半衰期放射性核素源如^{198}Au, ^{192}Ir, ^{137}Cs, ^{125}I永久地植入肿瘤组织中而不拔除。近年来，多使用^{125}I籽粒源，利用特别的工具或插植用的手枪，将籽粒源均匀植入肿瘤组织中。这种方法对一些手术中未能切除的支气管肿瘤、前列腺癌等的治疗都有良好效果，应用前景广阔；(2)非永久性组织间插植治疗，即病变组织达到预定剂量后，被植入的放射源随即拔除。如铱籽粒源用尼龙线串成节状，缝合插植；或先将尼龙和橡皮管排列于病变部位，后装籽粒源。上述两种植入治疗方法安全可靠、对正常组织杀伤小，有利于减轻患者痛苦。

（撰写：王荣福　审订：吕延晓）

zhidao shuiping

指导水平 guidance level 用于辐射防护管理中的一个指定量的水平，高于该水平时应考虑采取相应的行动。在某些情况下，当该指定的量实际低于其指导水平时，可能也需要考虑采取行动。目前实际应用最多的是医学指导水平。他是由业务部门和安全监管机构协商选定的一种剂量、剂量率或活度值，凡是高于该水平时应由从业医生作出评价，以确定在考虑特殊环境和采用可靠的临床判断时是否有必要超过此水平。

（撰写：马吉增　审订：张延生）

zhishi shengwu

指示生物 indicator organism 对环境理化性质的现状及变化趋势有指示作用的生物种的总称。某种生物只有在特定的环境条件下生活，该种生物的生存即表明该环境大概的理化特性及质量状况。如金丝鸟对一氧化碳污染反应敏感，从而对大气质量有指示作用。果松和桧树在铀矿上生长，叶片中含有较高的铀。针叶松可浓集放射性落下灰中的铯，紫露草对辐射照射敏感等。这些生物都可视为指示生物。常常利用指示生物来研究环境的质量并作出评价。

（撰写：张永兴　审订：陈竹舟）

zhiliang

质量 quality 任一物项或服务借以满足既定要求的性能和特性的总和。既定要求指用户要求，法规和标准要求，包括安全性、可靠性、适用性和经济性。核设施设计、制造和运行的质量满足既定要求是核设施保证安全的基础。在完成某一任务中，质量主要是由该工作的承担者创造的；管理者、工作者和评价者都对保证质量作出贡献。

（撰写：董柏年　审订：张　健）

zhiliang baozheng

质量保证 quality assurance 为使物项或服务达到既定质量要求，并提供足够置信度所必须的所有有计划的、系统的活动。贯彻执行质量保证制度是保证核安全的重要措施，是国际核安全公约规定的义务之一，也是国际核安全检查重要组成部分。国际核能界通行质保制度已有数十年的历史，近十年又提出了“基于实绩 (perfomance) 的质量保证”。西方国家和国际原子能机构都已对质量保证法规据此作了修改。基于实绩的质量保证强调：(1) 质量达到既定要求才是一切工作的目标；(2) 质量保证是全面管理的有效工具，其目的就是要保证产品或服务的质量满足既定的要求；(3) 质保计划有效的实施重于计划、程序和文件的制定；(4) 工作从一开始就应当正确进行，因此信息、计划、培训和纪律重于发现和纠正差错；(5) 保证质量是每一个工作人员的责任，包括管理人员、执行人员和评价人员，高层领导首先应该对质量负全面责任；(6) 工作人员的安全素养和质量素养是保证安全、保证质量的最根本因素。（撰写：董柏年　审订：张　健）

zhiliang baozheng dagang

质量保证大纲 quality assurance programme 为贯彻质量保证制度，达到既定质量要求而制定的总体计划。质量保证大

纲是一种管理工具，它为保证所有的工作都被适当地计划，正确地执行和评价提供一种系统的方法。为保证核设施的安全，核设施营运单位必须按照法规要求制定和有效执行总的质量保证大纲，并申报国家核安全监管机构审核。营运单位可以委托其他单位制定和实施质保大纲的全部或其中的一部分，但必须仍对总大纲的有效性负责，同时不减轻承包者的义务和法律责任。质保大纲必须明文规定组织结构，并明确规定其职责权限等级和内外联络渠道。组织结构必须按管理、执行和评价三种基本功能构筑。管理者负责目标、计划、指挥和资源；执行者负责完成工作达到既定质量；评价者负责评价工作管理过程和执行过程的有效性。

（撰写：董柏年　审订：张　健）

zhiliang baozheng jilu

质量保证记录　quality assurance records　为各种物项或服务的质量以及影响质量的各种活动提供客观证据的文件。必须确定、编制、审查、批准和保持那些叙述物项和服务的阶段、配置和特性以及描述质量执行过程，表明客观证据的记录。所有记录必须简明、完全和可以鉴定。还必须建立一个记录系统以鉴别、收集、编目、归档、储存、保管和处置记录。

（撰写：董柏年　审订：张　健）

zhiliang baozheng jiancha

质量保证监查　quality assurance audit　通过对客观证据的调查、检验和评价，为确定所制定的程序、细则、技术规格书、规程、标准、行政管理计划或运行大纲及其他文件是否齐全适用，是否得到切实遵守，有效执行而进行的审核并提出书面报告的工作。监查是独立评价的方法之一。为检验质量保证大纲执行的有效性，必须根据需要执行有计划的内部及外部监查制度，必须选择和任命合格的监查人员。参加监查的人员必须是对所监查的活动不负任何直接责任的人员。监查人员必须书面给出监查结果。必须由被监查领域负责的单位对监查中所发现的问题进行审核和纠正。必须采取后续行动，以验证纠正措施的实施。（撰写：董柏年　审订：张　健）

zhiliang baozheng jiancha

质量保证检查　quality assurance inspection　通过检验、观察或测量等手段，确定材料、零件、部件、系统、构筑物及工艺、程序是否符合规定要求的活动。

（撰写：董柏年　审订：张　健）

zhiliang baozheng jianyan

质量保证检验　quality assurance examination　检查工作的一部分，包括对材料、部件、供应品或服务进行检测以确定它们是否符合规定要求。质量保证检验一般采用无损检测，包括检验、计量和测量。　（撰写：董柏年　审订：张　健）

zhiliang baozheng pingjia

质量保证评价　quality assurance assessment　为评估质量管理的有效性，确定在管理过程中发生的有碍达到既定安全目标的问题和改进措施而进行的活动。质量保证评价可分为管理者自我评价和独立评价两种。自我评价要求各级管理者定期评估其所负责的工作过程以确定其有效性，找出管理过程中的问题和障碍，并提出改正措施。独立评价是以管理者的名义进行的，其目的是量度管理过程的有效性、工作实绩的合适性、去监察物项和服务的质量以推动改进。独立评价应由不承担被评价工作的人员进行。独立评价的方式有监查、审查、核查等。　（撰写：董柏年　审订：张　健）

zhiliang baozheng shiyan

质量保证试验　quality assurauce testing　为确定或验证物项的性能是否符合规定要求，使之置于一组物理、化学、环境或运行条件考验之下的活动。（撰写：董柏年　审订：张　健）

zhiliang fangshexing huodu

质量放射性活度　massic activity　又称比活度。单位质量的某种物质的放射性活度。质量放射性活度的单位为贝可勒尔每千克（$\mathrm{Bq\cdot kg^{-1}}$）。　（撰写：董柳灿　审订：潘自强）

zhiliang jianruo xishu

质量减弱系数　mass attenuation coefficient (μ/ρ)　某一物质对非带电粒子的质量减弱系数 μ/ρ 是 $\mathrm{d}N/N$ 除以 $\rho\,\mathrm{d}L$ 而得的商，即

$$\frac{\mu}{\rho}=\frac{1}{\rho\,\mathrm{d}L}\frac{\mathrm{d}N}{N} \tag{1}$$

式中 $\mathrm{d}N/N$ 为粒子在密度为 ρ 的物质中穿行距离 $\mathrm{d}L$ 时经受相互作用的份额。质量减弱系数的单位为平方米每千克（$\mathrm{m^2\cdot kg^{-1}}$）。其中 μ 是线减弱系数。在垂直入射时，粒子在厚度为 $\mathrm{d}L$ 的物质层内经受相互作用的概率为 $\mu\mathrm{d}L$。μ 的倒数称为非带电粒子的平均自由程。线减弱系数 μ 取决于吸收体的密度 ρ。质量减弱系数可以用总截面 σ 表示。质量减弱系数为 σ 和 N_A/M 的乘积，其中 N_A 为阿伏加德罗常数，M 为靶物质的摩尔分子质量，于是得下式

$$\frac{\mu}{\rho}=\frac{N_A}{M}\sigma=\frac{N_A}{M}\sum_J\sigma_J \tag{2}$$

式中 σ_J 为有关 J 型相互作用的分截面。在处理化合物物质的质量减弱系数时，通常将化合物看做是独立原子的混合物，于是该质量减弱系数由下式表示

$$\frac{\mu}{\rho}=\frac{1}{\rho}\sum_L(n_t)_L\sigma_L=\frac{1}{\rho}\sum_L(n_t)_L\sum\sigma_{L,J} \tag{3}$$

式中 $(n_t)_L$ 为L型靶体的体积数；σ_L 为L型靶体的总截面；$\sigma_{L,J}$ 为对 L 型单个靶体的 J 型相互作用的截面。

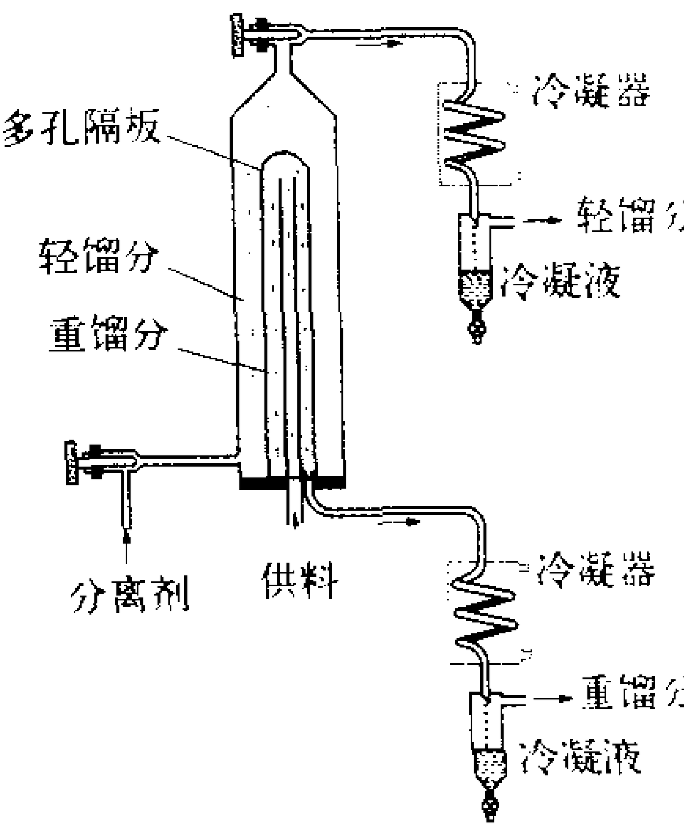
（撰写：董柳灿　审订：陈竹舟）

zhiliang kuisun

质量亏损　mass deficit　见核质量。

zhiliang kuosanfa

质量扩散法　mass diffusion method　因同位素混合物的不同组分在分离剂中的扩散系数不同而造成同位素分离的方法。如图所示，分离装置为一个内置圆柱形多孔隔板的圆筒。工作介质由供料口从中心通入，在上端输入，然后往下流动。一部分混合气体通过多孔隔板进入有分离剂流通的外室。由于在分离剂中轻同位素的扩散



质量扩散法示意图

系数较大而容易扩散，因而在由分离剂带动的向上气流中轻同位素得到富集。另一股从装置下部流出的重馏分中轻同位素被贫化。值得注意的是，质量扩散法中的多孔隔板并不起分离作用。在隔板上的孔是相当大的，气体流过孔时并非分子流，因而也无分离。所以产生分离是由于存在分离剂。为了在一个装置中产生分离倍增效应可以制成质量扩散柱。质量扩散法有可能用于中等原子量元素的小规模同位素分离。

（撰写：应纯同　审订：刘广钧）

zhiliang nengliang zhuanyi xishu

质量能量转移系数　mass energy transfer coefficient (μ_{tr}/ρ)　某一物质对非带电粒子的质量能量转移系数 μ_{tr}/ρ 是 dR_{tr}/R 除以 ρdl 而得的商，即

$$\mu_{tr}/\rho = \frac{1}{\rho dl}\frac{dR_{tr}}{R} \tag{1}$$

式中 dR_{tr}/R 为入射的非带电粒子在密度为ρ的物质中穿行距离 dl 时，入射辐射能量由于相互作用而转变成带电粒子动能的份额。质量能量转移系数的单位为平方米每千克（$m^2 \cdot kg^{-1}$）。在有关光子的计算中，通常质量能量转移系数包括结合能。在由适中原子序数元素组成的物质中，光子能量小于 1 keV 时，上述情况是重要的。如果给定类型和能量的入射非带电粒子在靶体内能够产生几种独立的相互作用，则质量能量转移系数可以用分截面 σ_J 来表示，给出下面关系式（2）

$$\frac{\mu_{tr}}{\rho} = \frac{N_A}{M}\sum_J f_J\sigma_J \tag{2}$$

式中 f_J 为入射非带电粒子在 J 型相互作用中，入射粒子能量转变成带电粒子动能的份额；N_A 为阿伏加德罗常数；M为靶物质的摩尔分子质量。质量能量转移系数与质量减弱系数之间关系由式 (3) 给出

$$\frac{\mu_{tr}}{\rho} = \frac{\mu}{\rho}f \tag{3}$$

其中

$$f = \sum_J f_J\sigma_J \Big/ \sum_J \sigma_J \tag{4}$$

化合物物质的质量能量转移系数通常将化合物看作独立原子的混合物加以处理。因此该物质的质量能量转移系数由式 (5) 表示

$$\frac{\mu_{tr}}{\rho} = \frac{1}{\rho}\sum_L (n_t)_L \sum_J f_{L,J}\sigma_{L,J} \tag{5}$$

式中 $(n_t)_L$ 为 L 型靶体的体积数；$\sigma_{L,J}$ 为对 L 型单个靶体的 J 型相互作用的截面；$f_{L,J}$ 为入射非带电粒子在与 L 型靶体的 J 型相互作用中入射粒子能量转变成带电粒子动能的平均份额。对某一物质 μ_{tr}/ρ 与（$1-g$）的乘积称为该物质对非带电粒子的质量能量吸收系数（μ_{en}/ρ）。其中 g 为释放的带电粒子在该物质内辐射过程中损失的能量的份额。

（撰写：董柳灿　审订：陈竹舟）

zhiliang zuzhi benling

质量阻止本领　mass stopping power (S/ρ)　某一物质对带电粒子的质量阻止本领 S/ρ 是 dE除以 ρdL 而得的商，即

$$\frac{S}{\rho} = \frac{1}{\rho}\frac{dE}{dL} \tag{1}$$

式中 dE为带电粒子在密度为ρ的物质中穿行距离 dL 时损失的能量。质量阻止本领单位为焦耳平方米每千克 ($J \cdot m^2 \cdot kg^{-1}$)。$E$ 可以用电子伏 (eV)表示，因此 S/r 可用电子伏平方米每千克 ($eV \cdot m^2 \cdot kg^{-1}$)表示。或以其某一适当倍数或约数表示，如兆电子伏平方厘米每克 ($MeV \cdot cm^2 \cdot g^{-1}$)。质量阻止本领可用各独立分量之和表示，即

$$\frac{S}{\rho} = \frac{1}{\rho}\left(\frac{dE}{dL}\right)_{el} + \frac{1}{\rho}\left(\frac{dE}{dL}\right)_{rad} + \frac{1}{\rho}\left(\frac{dE}{dL}\right)_{nuc} \tag{2}$$

式中 $\frac{1}{\rho}\left(\frac{dE}{dL}\right)_{el}$ 为由于与电子发生碰撞的质量电子阻止本领；$\frac{1}{\rho}\left(\frac{dE}{dL}\right)_{rad}$ 为在原子核或原子电子的电场中发射轫致辐射的质量辐射阻止本领；$\frac{1}{\rho}\left(\frac{dE}{dL}\right)_{nuc}$ 为由于在授与原子的反冲能量时发生弹性库仑碰撞的质量核阻止本领。此外可能要考虑由于非弹性核过程的能量损失。可用截面表示独立的质量阻止本领的分量，例如，原子的质量电子阻止本领可以表示为

$$\frac{1}{\rho}S_{el} = \frac{N_A}{M}Z\int\omega\frac{d\sigma}{d\omega}d\omega \tag{3}$$

式中 N_A 为阿伏加德罗常数；M 为物质的摩尔分子质量；Z 为原子序数；$\frac{d\sigma}{d\omega}$为碰撞微分截面；ω 为能量损失。

（撰写：董柳灿　审订：陈竹舟）

zhizi

质子　proton　带正电荷的核子，也是最轻的化学元素氢的原子核。符号为 p 或 ^{1}H。符号为 p 或 ^{1}H。质子质量约比电子大 1836 倍。对于质子的基本性质，直接实验测定结果是：质量为 1.673×10^{-27} kg，电荷为 1.602×10^{-19} C，自旋是 1/2，磁偶极矩为 1.411×10^{-26} J/T，半径约 10^{-15} m。按照夸克结构模型，质子由三个自旋为 1/2 的粒子即夸克组成，而且其中两个夸克（u 夸克）具有 2/3 质子电荷；另一个（d 夸克）具有 −1/3 质子电荷。到目前为止的实验表明，质子是稳定粒子。

（撰写：江栋兴　审订：卢希庭）

zhizi fangshexing

质子放射性　proton radioactivity　又称质子衰变。原子核自发地放射出质子的现象。最早测量到的质子放射性是 1962 年发现的缓发质子放射性，即丰质子的前驱核首先通过 β^+衰变或轨道电子俘获至质子发射核的激发态，然后在此激发态上发射出质子，其半衰期主要取决于前驱核的半衰期。实验上第一次观测到原子核直接发射质子的现象是在1970年，是从 ^{53}Co 的同核异能态 ^{53m}Co 发射的。1982 年首次观测到 ^{151}Lu 基态核的质子放射性，极丰质子核 ^{151}Lu 可以发射出能量为 1.23 MeV 的质子，半衰期约为 0.1 s。至今共发现了 23 个从基态或同核异能态发射质子的核。质子放射性的研究对提供质子滴线附近的核结构信息有重要意义。对某些极丰质子核，还存在同时发射两个质子的可能性。原子核自发同时发射两个质子的现象，称为双质子放射性。对它的研究可给出成对质子相互作用的知识。

（撰写：卢希庭　审订：叶沿林）

zhizi jifa X shexian yingguangfenxi

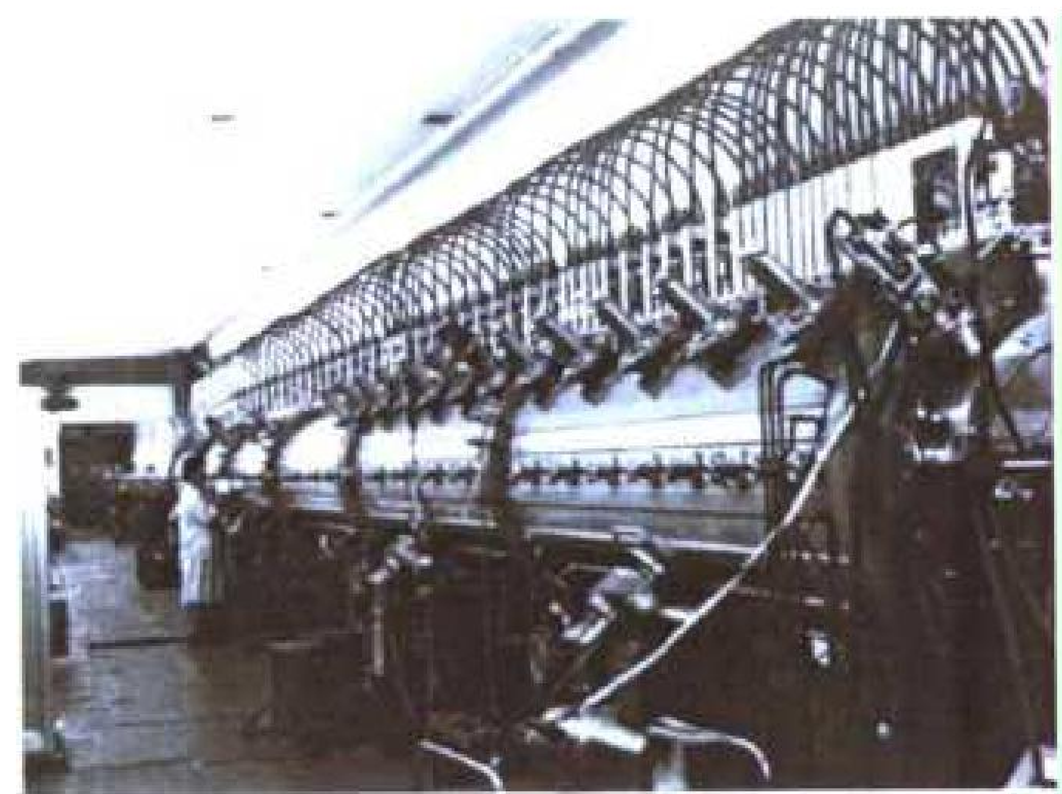
质子激发 X 射线荧光分析　proton induced X-ray emission analysis (PIXE)　基于质子引起原子特征 X 射线荧光发射的一种物质成分与含量分析技术。质子激发 X 射线荧光分析可根据物质受激原子的特征X射线荧光的能量与强度对元素成分进行定性和定量分析。这种方法具有灵敏度高、分析速度快和多元素同时分析等特点，目前已广泛应用于生物、医学、环境、矿物、考古学等许多研究领域中。特别是使用直径在微米

量级的质子束（称为微束）进行扫描分析时，可得到样品中元素的空间分布，甚至窥测到一个细胞中元素的分布。

（撰写：张士琛　审订：吕延晓）

zhizi zhixian jiasuqi

质子直线加速器 proton linear accelerator；proton linac　利用高频电场沿直线轨道加速质子的加速器。它通常由一个或多个加速腔及一系列磁透镜组成。质子束流不仅受到加速腔高频电场的加速作用，而且也受到透镜磁场的横向聚焦作用，它们在这种双重作用下，将沿着直线稳定加速到所要的最终能量。加速腔的数目主要取决于质子最终加速的能量。加速腔的结构形式多种多样，如漂移管结构，耦合腔漂移管结构，多腔漂移管结构或分离式漂移管结构，边耦合腔结构，轴上耦合腔结构，环形耦合腔结构及超导腔结构等。各种加速腔结构有不同的分路阻抗，适用于不同的加速能量段。质子直线加速器不仅是高能质子同步加速器的理想注入器，而且还广泛直接用于实验核物理、中子和π介子及质子治癌、射线照相、同位素生产、核武器研究等领域。我国于20世纪80年代成功研制了脉冲流强60 mA的漂移管腔结构的北京35 MeV质子直线加速器（见图），用于医用短寿命同位素生产、快中子治癌临床研究及基础应用研究等。



北京35 MeV质子直线加速器外观

（撰写：罗紫华　审订：王传英）

zhiliuliang

滞留量 holdup　同位素分离装置中所含工作介质的量。分离单元有分离单元的滞留量，分离级联有分离级联的滞留量。在研究级联非定常态问题时，必须考虑滞留量。在考虑滞留量时常常需要考虑的不是滞留量本身，而是分离单元的滞留量被分离单元的流量相除以后的值。此值的单位是时间的单位，可以是秒、日等。它表示分离单元中的工作介质被替换一次所需要的时间。换气时间的长短决定了平衡时间的长短。

（撰写：应纯同　审订：刘广钧）

zhongfang feiwu

中放废物 intermediate level radioactive waste (ILW)　放射性核素的含量或浓度及释热量虽然低于高放废物，但在正常操作和运输过程中需要采取屏蔽措施的放射性废物。全称中水平放射性废物。各国的放射性废物分类方法差别很大，尚没有统一的标准。我国放射性废物分类标准GB 9133—1995所规定的中放废物为：中放废气，活度浓度$A > 4 \times 10^7$ Bq/m^3；中放废液，4×10^6 Bq/L $< A \leqslant 4 \times 10^{10}$ Bq/L；中放固体废物，比活度$A > 4 \times 10^6$ Bq/kg ($T_{1/2} \leqslant 60$ d，包括^{125}I)，$A > 4 \times 10^6$ Bq/kg (60 d $< T_{1/2} \leqslant 5$ a，包括^{60}Co)，4×10^6 Bq/kg $< A \leqslant 4 \times 10^{11}$ Bq/kg，且释热率$\leqslant$ 2kW/m^3 (5 a $< T_{1/2} \leqslant 30$ a，包括^{137}Cs)，$A > 4 \times 10^6$ Bq/kg，且释热率$\leqslant$ 2 kW/m^3 ($T_{1/2} > 30$ a，不包括α废物)。

（撰写：罗上庚　审订：孙东辉）

zhonggaoneng he xiangduilunxing zhonglizi pengzhuang

中、高能和相对论性重离子碰撞 intermediate, high energy and relativistic heavy ion collisions　每核子能量为几十MeV到1 GeV以及1 GeV以上的重离子与靶核的碰撞。它是当代核物理中最活跃的前沿领域之一。研究内容的一个重要方面是各种重离子核反应过程的机制；另一个重要的方面是利用这一宽广能区的重离子碰撞，产生各种温度和密度的核物质，研究不同温度和密度，特别是高温和高密度核物质的性质和核态方程。按照能量由低到高的顺序，主要的研究内容依次是：(1) 碰撞中热核的形成和衰变，多重碎裂机制，可能存在的"液—汽"相变以及π介子的阈下生成等；(2) 粒子（碎块）的集体运动形成的集体流（定向流、挤出流、径向流）和粒子产生（π介子的低横动量增强、奇异粒子增强等）。前者反映了碰撞过程中的集体效应，后者给出了自高温和高密度体系分解出来的各种粒子的发射源的温度和体积；(3) 在高温度和高密度条件下可能发生的从强子物质到夸克—胶子等离子体（QGP）的相变（退禁闭相变），用于诊断QGP的各种可能的信号。

（撰写：白希祥　审订：许谨诚）

Zhongguo heshiyanchang

中国核试验场 nuclear test site of China　我国在新疆罗布泊地区建立的核试验场。该试验场远离城镇，空爆场区位于试验场的东部，处于浩瀚的戈壁之中，地形开阔，下风方向几百千米内没有居民点。场区干旱少雨，是进行大气层核试验比较理想的场地。地下核试验场位于试验场的西面，其中竖井核试验场选在一块相对较平的地区。在距离竖井核试验场区不远的地方有进行平硐核试验的山体，在山体中挖掘坑道进行试验。



中国核试验场及测试车群

（撰写：吕敏　审订：周佩珍）

zhongguo huanliuqi xinyihao HL 1M

中国环流器新一号 HL-1M HL-1M Tokamak　由中国环流器一号（HL-1）改进建成的圆截面孔栏型托卡马克装置（见图）。大半径1.02 m，小半径0.26 m，目前纵向磁场已达到2.8 T，放电电流最高获320 kA，最长放电时间4 s，等离



中国环流器新一号 HL-1M

子体密度 $(1\sim8)\times10^{19}\mathrm{m}^{-3}$。其目标是在高功率下开展辅助加热和电流驱动的实验研究。正在建造的大型托卡马克(HL-2A)将是我国第一个投入运行的具有偏滤器的大型聚变装置。其主要参数为：大半径 1.64 m、小半径 0.5 m、拉长比 1.2～1.6，环向场强度 2.8 T、等离子体电流 500～1000 kA。物理目标为开展近堆芯等离子体物理研究，探索提高等离子体约束性能的途径，发展等离子体二级加热和加料等核聚变关键技术，为下一步核聚变示范堆奠定可靠的技术基础。

（撰写：王思耀　刘　永　审订：钱尚介）

zhongjian lengque huilu

中间冷却回路　intermediate cooling circuit　也称中间回路。快中子增殖堆核动力装置中将具有放射性的一回路冷却剂（钠）与给水—蒸汽回路隔开并将一回路的热量传给给水—蒸汽回路的回路。这样即使在蒸汽发生器中发生泄漏事故引起钠水反应，也不会有放射性泄漏的危险。中间回路一般也用钠作冷却介质。它在中间热交换器中从一回路钠取得热量，由中间回路泵唧送至蒸汽发生器的过热器和蒸发器，将热量传给给水—蒸汽回路的水和蒸汽。它的压力比一回路略高，这样即使中间热交换器管子发生破损，也是中间回路钠漏向一回路，可保证没有放射性钠向外漏出。

（撰写：田传久　审订：陈叔平）

zhongjian rejiaohuanqi

中间热交换器　intermediate heat exchanger (IHX)　钠冷快堆一回路与二回路（中间回路）之间进行钠—钠热交换的设备。由堆芯流出的热钠从 IHX 壳上部进口流入，在壳内管间空间向下流动，从壳下部出口流出；而二回路钠在 IHX 顶部通过中心管向下流到底部汇流腔，然后向上流经各换热管，再流向二回路的蒸汽发生器。二回路的压力高于一回路的压力，以防止在换热管破裂时一回路的放射性钠向二回路泄漏，从而避免在蒸汽发生器中出现放射性钠与水反应的可能性。大多数快堆的中间热交换器都是一、二回路钠逆向流动的直管式管壳结构。结构上还充分考虑了管、壳之间由于热膨胀的差异引起的补偿问题。中间热交换器结构材料一般选用 316 和 304 型奥氏体不锈钢。它的使用寿命一般为 30 a，其间可以进行装拆、清洗及维修。

（撰写：田传久　审订：陈叔平）

zhongkong xinkuai

中空芯块　pellet with central hole　有中心通孔的燃料芯块。中空芯块的优点是：可降低芯块的平均温度，从而减少裂变气体的释放量；增大棒内空腔体积，从而降低内压；当芯块与包壳接触时，中心孔为芯块的蠕变提供空间，减少施加在包壳上的接触压力（见图）。中空芯块已广泛应用于俄罗斯压水堆燃料组件中。中心通孔直径约为芯块直径的 1/3。该燃料组件的平均卸料铀燃耗为 40 GW·d/t，稳态运行下铀燃耗为 45 GW·d/t 时，裂变气体释放率低于 2%，在最大线功率小于 325 W/cm 的运行条件下，中心最高温度低于 1000 C，既有效避免了芯块—包壳相互作用的发生，又缓解了肿胀。



辐照后 UO_2 中空芯块剖视图

（撰写：王树人　审订：李文埮）

zhongweizi

中微子　neutrino　不带电的轻子。与电子、μ 子和 τ 子对应，有 3 种不同的中微子 ν_e、ν_μ 和 ν_τ，每种中微子又有对应的反中微子。中微子的电荷为零，是参与弱相互作用的粒子，因此是研究弱相互作用的重要工具。中微子是自旋为 1/2 的费密子。对这类质量为零、自旋为 1/2 的粒子，其自旋方向与运动方向平行或反平行，分别被定义为右手螺旋态和左手螺旋态。试验证明，只有左旋中微子和右旋反中微子两个状态存在，而没有右旋中微子和左旋反中微子。曾经认为中微子质量为零，因为至今实验未能定出中微子确定的质量下限。然而实验证据和理论推测表明，有些中微子质量可能具有很小的确定值。质量不为零的中微子可引起中微子振荡现象，在振荡中不同类型的中微子可相互转换。对这些课题，目前正在深入研究中。

（撰写：班　勇　审订：叶沿林）

zhongxin dianhuo

中心点火　central ignition　核聚变装置中，位于球心部位的小部分热核燃料达到点火条件，继而引起主燃料燃烧的内爆点火方式。满足非平衡点火条件的点火区质量仅占总热核燃料质量的很小比例（2%），主要能量是热能。主燃烧区则相反，是高密度低温区（密度高于 300 $\mathrm{g\cdot cm^{-3}}$，温度越低越好），主要能量是压缩能。相对于整体燃料点火，中心点火方式大幅度地减少了对点火能量的要求。中心点火在技术上要求很高。首先，采用冷冻技术，并调整氘氚冰层和内部的氘氚饱和汽质量，使得在压缩后大致上能分别形成主燃烧区和点火区的双层结构；其次，要求驱动源进行精确的脉冲整形。这些技术均要求极高的驱动对称性和均匀性。特别要控制高温点火区和低温燃烧区之间由于内爆过程中流体力学不稳定性造成的混合，否则会导致点火困难，甚至失败。

（撰写：李泫生　审订：常铁强）

zhongzi

中子　neutron　不带净电荷的核子，也是构成原子核的重要组元。没有中子参与，两个或两个以上的质子不可能稳定地存在于原子核内部。中子的静止质量为 1.0086649 u，略大于氢原子的质量 1.0078250 u。自由中子是不稳定的，它能自发地转变成一个质子、一个电子（称 β 粒子）和一个电子反中微子，并释放出 0.782 MeV 的能量。其半衰期为 614.6 ± 1.3 s。中子的磁矩为 $-0.966\times10^{-26}\mathrm{J/T}$。实验表明，中子具有一定大小的磁性结构，其分布的均方根半径约为 $0.9\times10^{-13}\mathrm{cm}$。中子对物质具有很强的穿透能力。中子不仅在核科学技术本身（如核能利用、核武器研制等）的研究和发展中有重要地位，而且对其他学科中的应用如中子衍射、中子测井等，也起到关键作用。

（撰写：江栋兴　审订：卢希庭）

zhongzi cankao fushe

中子参考辐射　reference neutron radiation　按相关技术规范建立的用于校准中子测量仪表的中子辐射场。它要求中子注量、能谱和空间分布准确已知，散射成分尽量少，并且可用实验或理论计算准确扣除。因为中子仪表校准要求是自由

场量（即没有散射或本底中子贡献得到的量）。现在中子参考辐射场的产生方式主要有三类：放射性核素中子源、加速器中子源和反应堆中子源。GB 14055 — 93 推荐用于辐射防护中子仪表校准的中子源为 ^{241}Am–Be，^{241}Am–B，^{252}Cf 和重水慢化的 ^{252}Cf 中子源。而用于中子测量仪表能量响应测量的中子参考辐射则主要用加速器通过带电粒子核反应产生的单能中子源。

（撰写：容超凡　审订：李景云）

zhongzichan'e zhenduan

中子产额诊断 neutron yield diagnostic 惯性约束聚变中热核反应产物中子的测量。测量方法如下：(1) 中子活化法。用 γ–γ 或 β–γ 符合技术测量样品中被活化的核数推算中子产额；(2) 瞬态测量方法。低产额时，用大活性体积塑料或液体闪烁体配光电倍增管和示波器测量产额；高产额时，用固态探测器直接测量或通过束—箔转换方法，将中子转换成高能带电粒子，通过测高能带电粒子推算中子产额。在氘—氚等离子体聚变中，生成的高能氚核在输运中与燃料中的氘核发生聚变反应，生成能量大于 14.7 MeV 的次级中子。测量次级中子与初级中子产额比，可获得压缩的燃料等离子体面密度信息。

（撰写：温树槐　审订：江文勉）

zhongzidan

中子弹 neutron bomb 又称增强辐射武器 (enhanced radiation weapon)。以高能中子为主要杀伤因素而相对减弱冲击波和光辐射效应的一种小型氢弹。

中子弹的特点是爆炸释放的能量不大，但核辐射很强。在 150 m 高度爆炸时，中子弹的辐射杀伤半径与威力大 10 倍的裂变武器相当，约为同威力裂变武器杀伤半径的 2 倍，即杀伤面积的 4 倍。适当提高爆炸高度，在核辐射的杀伤半径基本不变的情况下，中子弹对建筑物的破坏半径还可以大大减小。威力 1 ktTNT 的中子弹和威力 10 ktTNT 的裂变弹，对坦克成员的辐射杀伤半径，都要比坦克本身被冲击波破坏的半径大得多。尽管核武器的各种杀伤破坏效应的作用半径都随武器爆炸威力的增大而增大，但在低空爆炸情况下，核辐射在空气中衰减很快，因此当核武器的爆炸威力增大到一定程度时，冲击波与光辐射的毁伤半径就会超过核辐射的杀伤半径。这时，武器的强辐射特性就不再能保持。所以，近地面使用的中子弹的爆炸威力一定是不高的 (约 1 ktTNT)。

中子弹是利用氘氚原子核聚变反应释放 14.1 MeV 高能中子来达到提高中子辐射效应的目的的。与其他裂变、聚变反应相比，释放同样核能，氘氚聚变反应放出的中子数目多、能量高。高能中子易于穿过空气，并且在人体组织中形成较高的吸收剂量。美国曾经服役的中子弹有为陆军 8 in 大炮研制的 W79-1 战斗部 (威力 0.8 ktTNT) 和为陆军“长矛”导弹研制的 W70-3 战斗部 (威力 1 ktTNT 左右)，均于 1992 年 9 月退役。曾经为陆军和海军陆战队的 155 mm 大炮研制过具有标准裂变和增强辐射两种能力的战斗部 W82-0，于 1983 年 10 月取消。法国和苏联也曾经试验过中子弹。中国经过试验在 20 世纪 80 年代掌握了中子弹技术。

中子弹能有效地杀伤敌方战斗人员，对附近建筑物或其他设施的连带破坏却很小。对于集群装甲目标，中子弹是一种有效的武器。它的弱点是作用半径有限，只适宜于在特定情况下的战场使用。

（撰写：郑绍唐　审订：徐遇新）

zhongzi daoguan

中子导管 neutron guide 利用中子在导管内壁多次全反射的原理，在真空条件下几乎没有损失地远距离传输中子的装置。导管内壁由全反射临界角大的材料制成的反射元件拼接而成，目前多数采用镀镍的玻璃板。按要求将反射元件连接成具有一定长度和曲率半径的矩形导管。应用中子导管有许多优点：一是导管将中子束引离中子源本体，使谱仪远离中子源，扩大了实验空间，降低了测量本底；二是导管可将中子分束，提高了中子束的利用率。中子导管技术自 20 世纪 60 年代开发以来应用日趋广泛，成为研究堆上必备的实验装置。导管技术仍在不断发展，如采用镀 ^{58}Ni 的反射元件及超镜复合结构等。

（撰写：赵文荣　审订：丁大钊）

zhongzi duopule xiaoying

中子多普勒效应 Doppler effect of neutron 又称多普勒展宽。在共振能区内的中子与靶核相互作用时，靶核的热运动引起观测的中子截面共振峰的峰值降低但宽度展宽的现象。多普勒展宽后共振曲线下的总面积基本不变，但由于共振峰值降低，能量处于共振能附近的中子注量率增加，因而共振吸收增加。多普勒效应是产生反应堆负温度系数的主要因素之一，对于反应堆的稳定性有重要意义。

（撰写：陈叔平　审订：许汉铭）

zhongzi fansheceng

中子反射层 neutron reflector 反应堆内紧贴在堆芯外围将从堆芯逃脱的中子部分地散射回堆芯的材料或物体。反射层材料应具有大的中子散射截面和小的中子俘获截面，这样既可以使中子不容易穿透反射层泄漏出去，又保证中子在返回堆芯的过程中不容易被俘获。对于热中子反应堆，还要求反射层材料具有良好的慢化能力。热中子反应堆常用的反射层材料为铍、水、重水和石墨。快中子反应堆常用的反射层材料为铅、铁和 ^{238}U。用了反射层后，可减少堆芯临界体积和临界质量。通常用反射层节省来表示反射层的价值。

（撰写：陈叔平　审订：许汉铭）

zhongzi feixing shijian puyi

中子飞行时间谱仪 neutron time of flight spectrometer 一种通过测量中子飞过确定距离所需要的时间来测定快中子能谱的仪器。主要由快响应的中子探测器和快电子线路组成。要测量飞行时间 t，必须记录中子起飞的时刻和到达飞行距离 L 终点的时刻。后者可以用放在终点处的探测器给出的脉冲来决定；而确定起飞时刻有以下几种方法：(1) 记录放在飞行起点处的有机闪烁体内中子的散射作用；(2) 由放在中子源附近的探测器记录在核反应中伴随中子产生而出现的其他带电粒子；(3) 用与中子自源飞出的时间同步的电脉冲来标志起始时刻，此法用于脉冲中子源的情况。这种飞行时间谱仪通常放置在反应堆、加速器旁边，用来测量热中子、慢中子、快中子的能谱。中子飞行距离常为几米、几十米，甚至上百米。中子能量的分辨率可达 0.1 %。（撰写：倪建平　审订：席德明）

zhongzi fuhuo

中子俘获 neutron capture 又称中子辐射俘获，记作 (n，γ)。中子与原子核发生核反应后被原子核所吸收，原子核退激时只是释放出 γ 辐射的一种现象。中子俘获是中子吸收反应中的一种。对于热中子和慢中子等低能中子，中子辐射俘获反

应是很重要的核反应。快中子增殖反应堆增殖 ^{239}Pu 核燃料就是利用了 ^{238}U 的中子辐射俘获反应。

（撰写：许谨诚　审订：连培生）

zhongzi heshuju

中子核数据　neutron nuclear data　对中子与原子核相互作用时所发生的各种反应的特性（如反应概率、出射粒子角分布、能谱等）作定量描述的各种数据。现在，常指核工程中所用的有关中子核反应的数据的总称。常用的核数据包括：全截面、各种核反应分截面及角微分截面、出射粒子的能谱、角分布及角度能量双微分截面、裂变产额、中子共振参数等的数值及其误差；这些数据之间相关误差的分析数据；与微观核数据有关的核结构和核反应的基本参数如能级密度、强度函数等。还包括用上述微观数据计算得到的宏观截面和根据具体核装置要求而制作的群常数。由于中子核数据具有极重要的应用价值，建立准确可靠的中子核数据库一直是国际核物理学界的一个重要的研究活动。它包括实验测定，理论计算，数据收集和编纂评价，宏观实验检验，最后建立数据库。为此，中国、美国、欧洲、俄罗斯和日本等均设有核数据中心。国际原子能机构也设立核数据中心，对一些重要的、或有重大分歧的核数据，组织多国参加数据的比对工作，或组织合作研究计划攻克难度较大的数据测量和评价。为便于交流，国际原子能机构设立了EXFOR 国际数据库，各国把自己的测量数据按统一格式送到该库。不断补充、改进、完善、更新数据库是各国核数据中心的基本活动。

（撰写：赵文荣　审订：丁大钊）

zhongzi huohua fenxi

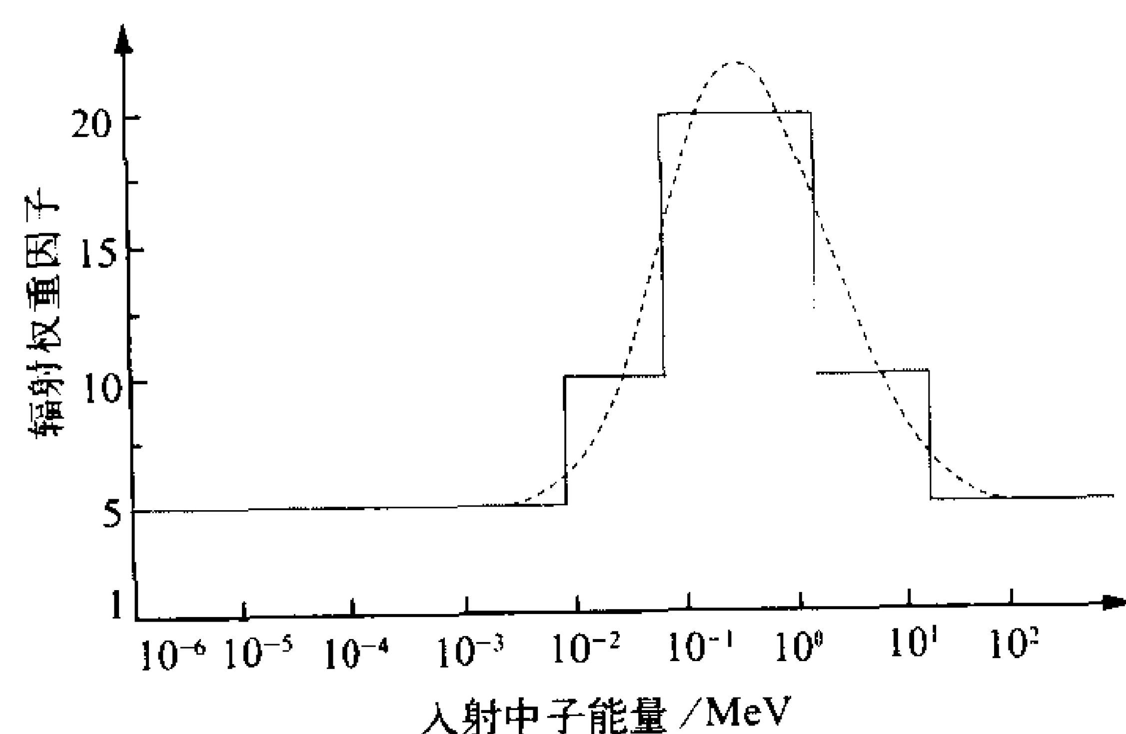
中子活化分析　neutron activation analysis　以中子为入射粒子的活化分析。中子活化分析是根据中子活化产生的感生放射性核素所具有的衰变特性（半衰期、射线能量和强度），进行元素的定性和定量分析，目前以反应堆中子活化为主。中子活化分析可测定 60～80 个元素，取样量范围从微克级到克级，元素的分析灵敏度达 10^{-6}～10^{-15} g。目前，中子活化分析以其高灵敏度、高准确度、非破坏性、无试剂空白污染和多元素同时分析等优点广泛地应用于地球化学、宇宙学、环境科学、考古学、医学、材料科学和法医学等领域。

（撰写：倪邦发　审订：吕延晓）

zhongzi jiliangji

中子剂量计　neutron dosimeter　测量中子所产生的剂量大小的剂量计。总的来讲可以分为场所监测用的场所中子剂量计和个人监测用的个人中子剂量计两大类。由于中子的辐射权重因子随中子能量变化较大（见图），因此中子剂量计的探测器部分需要专门设计，有时需要附加专门设计的某种慢化体和吸收体，同时还必须注意每一种中子剂量计所适用的中子能量范围。场所中子剂量计所采用的探测器类型有电离室、计数管等。个人中子剂量计常用的探测器有核径迹乳胶、固体核径迹探测器、热释光剂量计、气泡室直读式剂量计等。人体对中子的反照和慢化常被用于改善个人剂量计的能响，构成中子反照剂量计。

（撰写：夏益华　审订：胡遵素）



中子辐射权重因子与入射中子能量的关系

光滑曲线为一种近似值

zhongzi kuosan

中子扩散　neutron diffusion　中子经过逐次碰撞从高中子密度区向低中子密度区迁移的现象。描写中子扩散的近似定律为斐克定律（参见中子扩散理论）。

（撰写：何可学　审订：许谨诚）

zhongzi kuosan lilun

中子扩散理论　neutron diffusion theory　描述中子群体空间运动的一种近似理论。它假定中子扩散与气体扩散相似，也近似服从斐克扩散定律，即中子流密度 J 正比于负的中子注量率 Φ 的梯度，$J=-D\Delta\Phi$ 其比例系数 D 叫做扩散系数。其中中子注量率 Φ 定义为中子密度 N 与中子速度 v 的乘积，中子流密度 J 的方向代表中子总体流向，其数值等于单位时间内流过与该方向垂直的单位面积的净中子数。扩散长度是核反应堆物理中一个极其重要的参数。在无限大弱吸收介质中无限平面源产生的中子注量率以扩散长度作指数衰减。

（撰写：奚树人　审订：单文志　许汉铭）

zhongzi manhua

中子慢化　neutron moderation　中子与介质核碰撞而不断降低速度和减少能量的过程（参见中子慢化理论）。

（撰写：许谨诚　审订：连培生）

zhongzi manhua lilun

中子慢化理论　theory of neutron slowing down　研究反应堆内中子与介质原子核碰撞而不断减速过程的理论。在热中子反应堆中，核裂变主要由能量小于 1 eV 的热中子引起，而裂变产生的次级中子是快中子，其平均能量为 2 MeV。因而慢化过程在热中子反应堆内是一个非常重要的物理过程。中子与介质原子核的散射反应包括弹性散射和非弹性散射。在热中子反应堆内中子慢化主要依靠弹性散射。中子在散射后飞行发生偏转，散射角满足的分布称为散射律。对于弹性散射，其散射律通常为在质心系内是各向同性的。中子在弹性碰撞前、后的能量以及散射角满足如下关系

$$E'/E=(A^2+2A\cos\theta+1)/(A+1)^2$$

式中 E'、E 分别为碰撞前、后中子的能量；A 为散射核的原子量；θ 为在质心系内中子的散射角。原子核的质量数越小，所损失的动能越大。每次碰撞中子能量的自然对数的平均减少值称为平均对数能降，记作 ξ。ξ 与慢化剂的宏观散射截面 Σ_s 之乘积称为慢化能力，慢化能力与该慢化剂热中子宏观吸收截面 Σ_a 的比值称为慢化比，它是慢化剂慢化性能的综合指标。在非弹性散射中，中子的大部分动能变成靶核内能，使核处于激发态，然后靶核通过发射射线返回到基态。非弹性散射在快中子反应堆中起着重要的作用。在无限介质内，裂变中子由裂变能 E_0 慢化到热能 E_T 所需要的平均时间称为慢化时间。描述慢化过程的另一个极为重

要的量是慢化密度 $q(r, E)$，它定义为 r 处每秒每单位体积内慢化到能量 E 以下的中子数。

（撰写：奚树人 审订：单文志 许汉铭）

zhongzi midu

中子密度 neutron density 在中子物理或反应堆物理中指的是自由中子场中每一点处单位体积元中的自由中子数目。它是表征中子场特性的一个重要参数。某处的中子密度 n 与该处中子平均速度 v 的乘积 nv 即为该处的中子注量率。在核结构理论中，中子密度指原子核中某一点的单位体积元中的平均中子数目。（撰写：许谨诚 审订：连培生）

zhongzi nengpu

中子能谱 neutron spectrum 中子注量率随能量的变化。常以 $\phi(E)$ 表示，$\phi(E)\Delta E$ 为在能量 E 附近，ΔE 能量间隔内的中子注量率。在热中子反应堆内，可以近似地认为能量大于 1 MeV 的中子能谱为裂变谱，1 MeV～1 eV 的为 $1/E$ 费密谱，1 eV 以下的为麦克斯韦谱。中子能谱是反应堆物理中的重要研究课题之一。求得中子能谱后，才能按能谱权重平均宏观截面参数如群常数等。

（撰写：何可学 审订：许谨诚）

zhongzi nengpu celiang

中子能谱测量 neutron spectrum measurement 记录中子数目随能量变化的一组操作。对热中子和快中子，能谱测量方法有很大差异。快中子的能谱测量方法包括氢反冲法、核反应法、飞行时间法和阈探测器法；热中子的能谱测量方法主要是飞行时间法和晶体衍射法。飞行时间法的基本原理是：$E=1/2\,mv^2$，式中 E，m，v 分别是中子的能量、质量和飞行速度。由于中子质量 m 已精确测定，故只要测出中子的飞行速度便可计算出中子的能量。早期飞行时间法主要用于热中子和慢中子能谱测量，随着快闪烁计数器的出现和纳秒技术的发展，现已成为快中子能谱测量准确度最高、应用最多的测量方法。晶体衍射法主要依据中子具有波性，当它的波长与物质中原子之间距离相同数量级时会发生衍射现象。利用这一原理制成的中子晶体衍射仪既可用来测热中子能谱，又可分析单色中子。氢反冲法与核反应法较简便，故应用很广泛。氢反冲法是利用能量为 E_n 的中子打到含氢物质上，与氢核发生弹性碰撞，根据碰撞前后能量和动能守恒关系，可算出反冲质子能量 E_p 为：$E_p=E_n\cos^2\phi$，式中 ϕ 是反冲质子与入射中子方向间的夹角。实验上只需测定某个角度反冲质子能量就可求得入射中子的能量。核反应法通常应用中子和 ^6Li 或 ^3He 发生核反应，记录反应产物的能量，从而算出中子能量。

（撰写：丁声耀 审订：容超凡）

zhongzi nianling

中子年龄 neutron age $[\tau(E)]$ 各向同性点源在空间 r 处所产生的能量为 E 的中子注量率（或能量在 E 处的中子慢化密度）的二次空间矩的六分之一，即

$$\tau(E)=\frac{1}{6}\frac{\int_0^\infty r^4 f(E,r)\mathrm{d}r}{\int_0^\infty r^2 f(E,r)\mathrm{d}r}$$

式中 r 是由点源算起的直线距离；$f(E,r)$ 是点源在 r 处产生的能量为 E 的中子注量率（或能量在 E 处的中子慢化密度）。在反应堆物理中，中子年龄是表征介质对中子慢化的基本特性参数之一。热中子年龄 $\tau(E_T)$ 的物理意义是中子自裂变产生点（具有裂变能）到慢化到热能上限 (E_T) 时所在那个点的直线距离均方值的六分之一，也称慢化面积。几种常用的慢化剂和典型堆的热中子年龄如表所示。

慢化剂与典型堆	H_2O	D_2O	Be	BeO	石墨	压水堆	沸水堆	高温气冷堆
$\tau(E_T)/cm^2$	26	131	102	100	368	约 40	约 50	约 300

（撰写：何可学 审订：许谨诚）

zhongziqun kuosanfa

中子群扩散法 neutron group diffusion method 将具有连续能量分布的中子在介质内慢化和输运耦合在一起的复杂问题简化为具有不同能量的各群中子在介质内分别扩散的一种理论方法。它假定中子扩散服从斐克定律。因为堆内中子能量范围从 10 MeV 一直延伸到 0.01 eV 以下，而中子与堆内各种材料原子核的反应截面又是中子能量的函数，要求解这种能量相关的扩散方程是非常困难的。通常近似地把中子能量范围划分为若干离散的能量间隔：(E_0, E_1)，(E_1, E_2)，…，(E_{G-1}, E_G)，每一个能量间隔称为一个能群，采用适当的平均值来表示该能群内的截面参数。中子在各能群内视为单能的，群与群之间通过中子转移截面进行耦合，这样，原来随能量连续变化的扩散方程就转化为一系列与能量无关的联立扩散方程组，使问题得到简化。

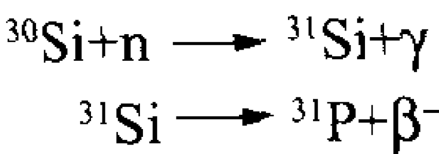
（撰写：薛小刚 审订：史永谦 许汉铭）

zhongzi sanshe

中子散射 neutron scattering 中子与原子核发生碰撞后原子核的种类不发生变化的过程。碰撞前、后体系的总动能保持不变的为中子弹性散射；由于原子核的内部状态发生变化，因而体系总动能变化的为中子非弹性散射。发生散射后中子的运动方向会发生变化，即使对弹性散射，由于中子动能的一部分或全部转为原子核的反冲动能，中子的能量也会降低。对于热中子，由于它的德布罗意波长与凝聚态等的原子间距相当，中子散射呈现衍射现象。此外，热中子还可与分子或晶体点阵发生能量交换，也是一种中子非弹性散射。热中子的磁矩与物质中原子的磁矩相互作用，发生磁散射，也是中子散射的一种。（撰写：许谨诚 审订：连培生）

zhongzi shanbian chanza

中子嬗变掺杂 neutron transmutation doping (NTD) 用中子照射半导体材料使其部分原子俘获中子后衰变变成另一种所需的原子（掺杂剂）而实现掺杂的过程。纯 P 型单晶硅材料在热中子照射下，发生下列核反应



$$^{30}Si+n \longrightarrow {}^{31}Si+\gamma$$
$$^{31}Si \longrightarrow {}^{31}P+\beta^-$$

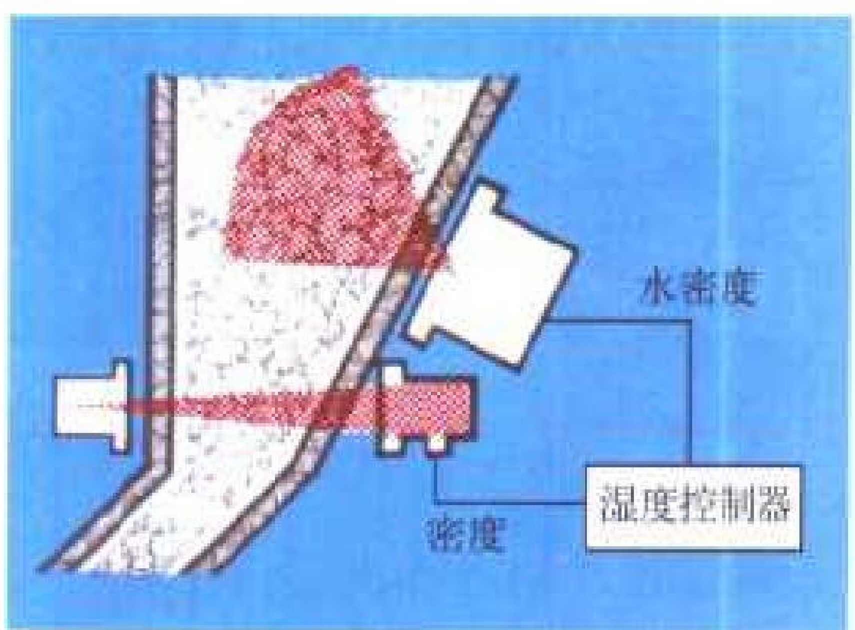
原始单晶硅中由于出现衰变产物 ^{31}P 而实现磷掺杂，从而获得高阻 N 型单晶硅材料。中子嬗变掺杂的单晶硅材料最大的特点是，电阻率均匀性（包括断面均匀性）好，不均匀度可小于 5%，远远胜过于常规区域熔融制备的单晶硅材料，这对提高半导体探测器的性能十分有利。

（撰写：吕延晓 审订：卢玉楷）

zhongzi shiduji

中子湿度计 neutron moisture meter 又称中子水分仪。根据快中子被水分子中氢核慢化后的计数确定材料中水含量的

湿度计（见图）。中子湿度计的工作原理是快中子在穿过介质时发生弹性碰撞而失去能量（即慢化），并逐步减速成慢中子和热中子，其密度及慢化过程受介质中氢原子的浓度影响最大。探测器中慢中子或热中子计数与氢原子浓度呈现正相关。而在大多数材料中，氢原子通常以水的形式存在，因此水分含量决定了热中子的数量。中子水分仪有插入型、透射型、表面型、散射型和带密度修正型等类装置，它们的共同特点是被测材料与传感器没有真正的接触，水分测量与水的化学结合态无关，可实现连续测量和控制。目前中子水分仪已在冶金、铸造、化工、建材、土建和农业得到广泛的应用。 （撰写：刘以思　审订：吕延晓）



中子湿度计示意图

zhongzi shuyun lilun

中子输运理论 neutron transport theory 利用玻耳兹曼输运方程处理中子在介质内徙动问题的理论。它是研究中子群体在散射、吸收和增殖介质中运动的精确方法。中子输运方程是一个含有空间坐标 $r(x, y, z)$、中子能量 E 和中子运动方向 $\boldsymbol{\Omega}(\theta, \varphi)$ 六个自变量的微分—积分方程。要精确求解这一方程是十分困难的，通常采用近似的数值方法对其求解。离散坐标法（S_n方法）就是研究粒子输运问题的常用数值方法之一。该方法中对自变量 $\boldsymbol{\Omega}$ 作离散化处理、求出这些离散方向上的函数值，用来近似地逼近原来的函数。

（撰写：薛小刚　审订：史永谦　许汉铭）

zhongzi shuaibian

中子衰变 neutron decay 自由中子在不受外界干扰的情况下自发转变成质子、电子和反中微子的过程。自由中子是不稳定的，这是由于中子质量大于质子和电子质量之和，由于弱相互作用而发生 β 衰变，衰变能为 0.782 MeV。由于中子衰变的重要意义，因此自 20 世纪 50 年代以来，人们用不同的实验方法对中子衰变的半衰期作了许多测量，但结果分散性很大，在 10～30 min 之间。80 年代以后，应用先进的超冷中子的中子瓶技术储存中子，测量其密度的衰减，与其他方法取得的结果一致。目前中子半衰期的评价值为 614.6 ± 1.3 s。

（撰写：赵文荣　审订：丁大钊）

zhongzi tongliang midu

中子通量[密度] neutron flux [density] 见中子注量率。

zhongzi weirao lilun

中子微扰理论 neutron perturbation theory 求解由于反应堆参数发生微小变化（微扰）所引起的反应堆宏观性能变化的理论。它常用于研究截面数据、几何形状、中子毒物、温度等微小变化对反应性的影响。当扰动很小时，反应性的实际变化量很小，如果直接计算扰动前后的反应性再相减来求其值，则它可能和计算本身的误差属于同一个数量级，从而得不到精确的结果。如果实际利用微扰理论则可比较方便地解决这类问题。

（撰写：薛小刚　审订：史永谦　许汉铭）

zhongzi wendu

中子温度 neutron temperature 在热中子反应堆中，中子速度近似于麦克斯韦分布时最可几速度所对应的温度。如果无源的无限介质不吸收中子，中子温度将等于介质温度。在实际反应堆中，由于存在吸收，热中子谱通常比麦克斯韦分布偏硬，但仍可用中子温度下的麦克斯韦分布描述反应堆热中子谱。中子温度是能谱指标之一，测量出中子温度就可以大致了解热中子谱的基本特性。测量中子温度的方法很多，最常用的是双探测片方法，或称双箔法。该法选择一种共振探测片（例如镥）和一种 $1/v$ 探测片（例如镝），把这一对探测片放在堆谱中辐照，然后分别测量它们的活化率。由于测量条件的差别，很难得出绝对活化率，所以通常把这一对探测片再放到中子谱已知的参考谱（例如热柱）中辐照，从而可以得出相对活化率，最后应用威斯科特（Westcott）反应率计算方法求出等效中子温度。

（撰写：阎凤文　审订：史永谦　许汉铭）

zhongzi wuli

中子物理 neutron physics 研究中子的基本性质、中子与物质的相互作用、中子的产生、探测技术以及应用的学科。又分为微观中子物理和宏观中子物理。微观中子物理以研究中子与原子核之间的相互作用为基本内容。中子不带电，它和核外电子几乎没有作用，与原子核发生强相互作用。由于没有库仑势垒，即使极低能量的中子也能进入原子核，发生核反应。宏观中子物理研究中子在大块物质（即所谓的宏观介质）中的输运过程，即中子与物质中大量原子核的碰撞，慢化和扩散的过程。对含有裂变材料（核燃料）的宏观介质组合体的研究与核反应堆的具体设计问题紧密相联，已发展成为独立的"反应堆物理"学科，不包括在中子物理范围之内。中子和中子物理有着广阔的应用领域：除核能和核武器之外，中子应用还有两个方面：其一，利用中子散射技术研究凝聚态物质、生物大分子、聚合物等的结构和性质，已成为现代材料科学、生命科学等基础学科前沿研究的必不可少的手段；其二，中子技术广泛应用于工业、农业和医学等许多重要领域，例如：放射性同位素生产、中子掺杂、辐照加工、辐照育种、中子治癌、中子测井、中子活化分析等。

（撰写：李景文　审订：丁大钊）

zhongzi xishou

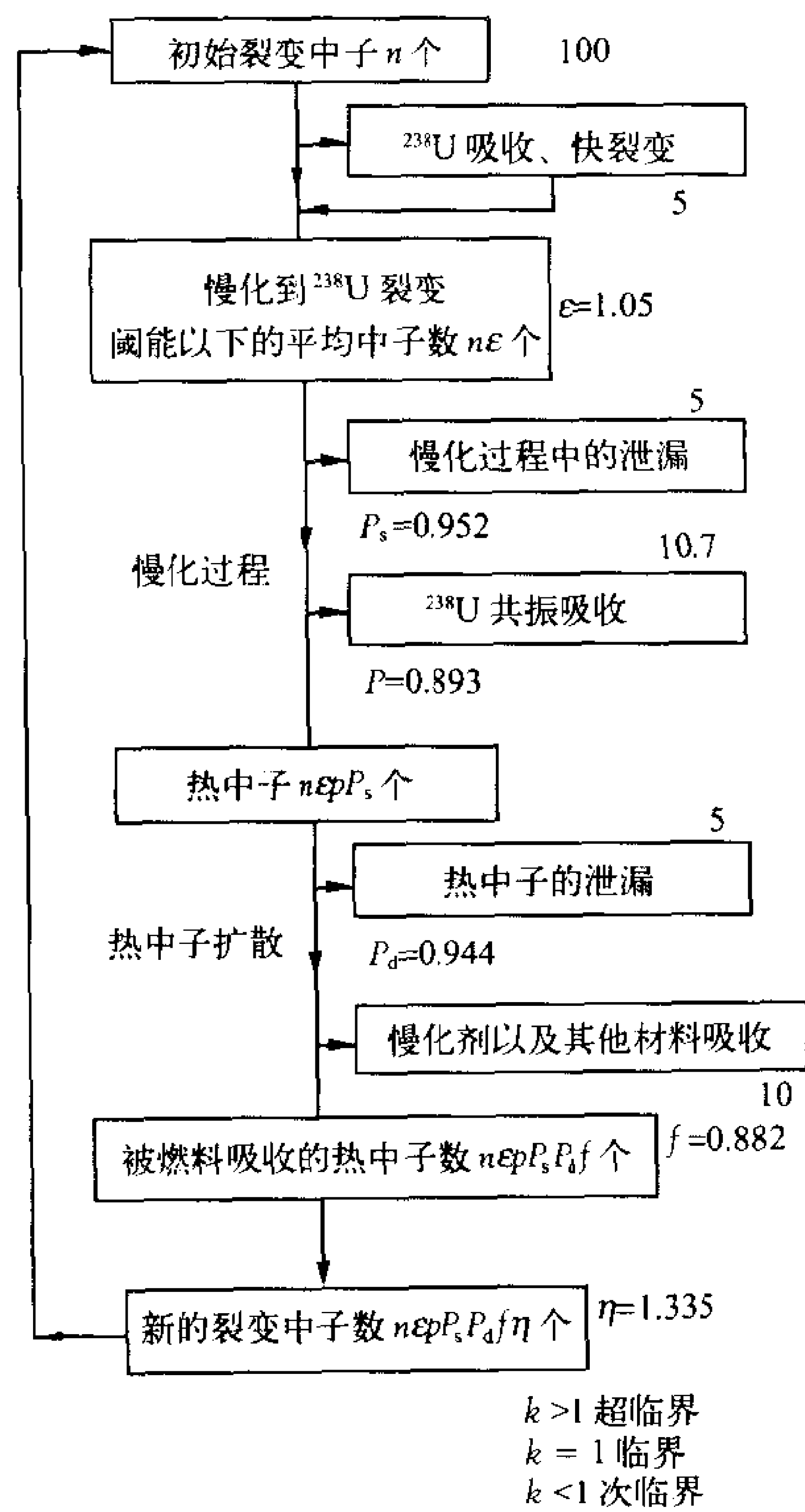
中子吸收 neutron absorption 中子与原子核反应后为原子核所吸收，不再作为自由中子存在的现象。对于大多数原子核，吸收低能中子的主要核反应为辐射俘获反应 (n, γ)；对于铀等易裂变核，裂变反应 (n, f) 也是一个重要的中子吸收反应；对于快中子，能量超过其反应阈能时，大多数核均可发生 (n, x) 反应：原子核吸收中子，放出质子、α 粒子等轻带电粒子。在核反应堆中，中子吸收过程起着重要的作用。^{235}U 的裂变反应虽然吸收了中子，但裂变提供了更多的中子，是维持持续链式反应的基础。^{238}U 的 (n, γ) 反应可以产生新的核燃料 ^{239}Pu。硼、镉、铪等对中子的吸收被利用来作为核反应堆的控制棒和安全棒。

（撰写：许谨诚　审订：连培生）

zhongzi xunhuan

中子循环 neutron cycle 以一代接一代的方式进行的链式裂变反应从中子引起裂变开始至发生下一代裂变为止所经历

的过程(见图)。在热中子反应堆内,中子循环简述如下:热中子引起的裂变产生新一代快中子,它们的一小部分引起快裂变,其余部分不断与慢化剂核发生碰撞而逐渐被慢化。中子在慢化过程中,没有泄漏且未被共振核吸收的中子慢化成



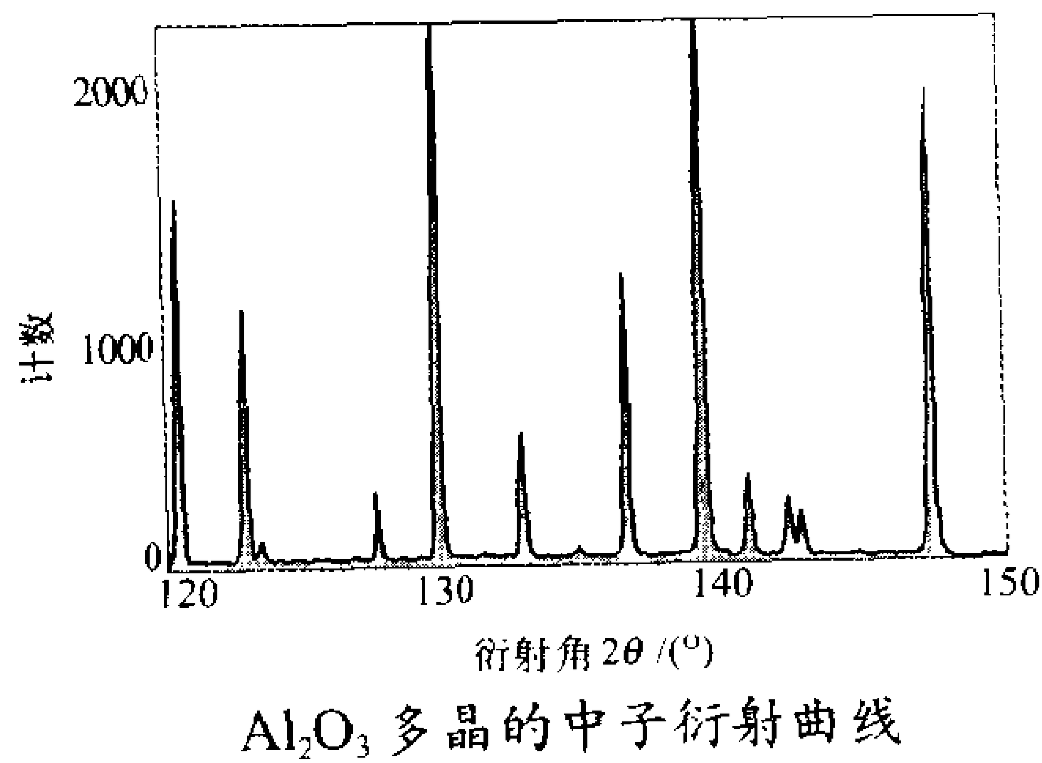
中子循环示意图

热中子。热中子在扩散过程中,除去泄漏以及被慢化剂、冷却剂和结构材料等的吸收,剩下部分被核燃料吸收并引起新的裂变。至此完成一代中子循环。

(撰写:奚树人　审订:单文志　许汉铭)

zhongzi yanshe

中子衍射　neutron diffraction　当中子波长与晶体点阵间距可相比拟时,入射到晶体上的中子发生散射,由于干涉效应而产生衍射。对于慢中子,其波长 $\lambda(\text{nm})=0.0286/\sqrt{E(\text{eV})}$。例如,当能量 E=0.0253 eV 时,λ=0.1798 nm,与许多晶体晶面的间距相当,因此可能发生布喇格散射。设 d 是晶面的间距,θ 为入射束与晶面的夹角。当上述参数满足布喇格条件 $n\lambda=2d\sin\theta$ 时,产生干涉极大,式中 n 为正整数,是衍射级数。如图所示为 Al_2O_3 多晶的中子衍射曲线。利用中子衍射原理制成了中子晶体衍射谱仪,用它可以研究热中子能区的中子能量分布,也可以分解出单能中子。作为更重要的应用,



Al_2O_3 多晶的中子衍射曲线

中子衍射是中子散射技术的一个方面,可研究包括氢原子在内的晶体结构,通过与铁磁物质的磁散射,还可以用来确定物质中原子磁矩的大小、取向和分布等。

(撰写:李景文　审订:丁大钊)

zhongzi yu wuzhi de xianghu zuoyong

中子与物质的相互作用　interaction of neutron with matter　中子穿过宏观物质时与其组成原子的电子和原子核的各种相互作用。中子是电中性的,不能直接引起物质的电离,它在穿透物质时与原子核发生强相互作用是主要过程。弹性或非弹性碰撞引起中子改变能量和运动方向,发生慢化。通过核反应,使中子发生倍增或消失。中子在物质中的穿透能力比具有相同能量的带电粒子更强,可以穿透大块物质。中子具有磁矩,它可与物质中的电子集体运动的自旋波发生作用。中子与原子核的相互作用是核能和核技术应用的基础。例如,核武器和核电站是基于中子引起原子核的裂变;核燃料钚与氚以及放射性同位素的生产是利用中子的辐射俘获等核反应;中子核反应的其他应用领域还有硅单晶的中子嬗变掺杂、中子活化分析、中子测井、热中子硼俘获治癌等。在射线治癌和生物育种中也广泛应用中子。基于低能中子——热中子和冷中子与物质的相互作用发展的中子散射技术广泛应用于凝聚态物质、生物大分子和高分子聚合物等的微结构和动态特性的研究,已成为当代与同步辐射实验方法互补的研究物质的技术手段。

(撰写:施义晋　审订:丁大钊)

zhongziyu tanceqi

中子阈探测器　neutron threshold detector　用以测量其能量超过某一阈能的中子探测器。中子的核反应截面一般随中子能量呈现明显的变化关系。有一些核反应,当中子能量低于某一阈能时,其核反应截面可忽略不计;而当中子能量高于此阈能时,其核反应截面急剧增加。利用这一特点,测量样品中引起的中子核反应数目,可以确定阈能以上的中子注量率。不同核素的阈能各异,可根据不同需要选择适当核素作为中子阈探测器的灵敏材料。利用一组具有不同阈能的核素做成几种中子阈探测器,还可以测出中子在几个能量区段间的中子注量率分布。

(撰写:彭华寿　审订:孙汉城)

zhongziyuan

中子源　neutron source　产生中子的装置。广义来讲,加速器和反应堆也是中子源,但一般指放射性同位素中子源。这类中子源产生中子的弹核由放射性同位素提供,因此其寿命取决于放射性同位素的半衰期。这种中子源的结构简单,但强度不可能太大。超铀元素(如 ^{252}Cf)自发裂变制成的中子源也属此类。描述中子源性能的主要参量为源强度(单位时间内发射的中子数)和能谱(发射中子的能量分布)。中子源在工业、农业、国防、医疗卫生和科学研究等部门有广泛应用。有的反应堆在起动时需要用中子源“点火”(参见中子源组件)。

(撰写:陈叔平　审订:许汉铭)

zhongziyuan qiangdu

中子源强度　neutron source strength　这里所指的中子源是放射性核素中子源,它是由放射性核素衰变发出的能量足够高的α粒子或γ射线打到靶物质上引起核反应或重核自发裂变而产生中子。因为中子不带电,不能直接引起电离。测量

中子主要是通过测定中子引起核反应产生的次级射线来实现。测量中子源强度有多种方法，如：活化法，水池法，伴随粒子法和锰浴法等。目前最常用的是锰浴法，也可以用长计数器等中子探测器来与标准中子源比较作相对测量。中子源已在工业、农业、科研、医疗等各个领域广泛使用，不同用途对其强度要求不同，对强度测量的准确度的要求也不同。目前最常用的有 ^{252}Cf 自发裂变中子源和 $^{241}Am-Be(\alpha, n)$ 中子源。 (撰写：容超凡 审订：丁声耀)

zhongziyuan zujian

中子源组件 neutron source assembly 将产生中子的中子源棒组合在一起的部件。其主要功能是使反应堆临界前的中子注量率达到检测仪器的安全灵敏量程，在启动过程中避开测量盲区，保证启动过程的安全。中子源组件一般布置在堆芯内或堆芯邻近。中子源组件包含初级中子源棒、次级中子源棒以及阻力塞棒，通过连接板组合在一起。初级中子源常采用 ^{252}Cf 或Po–Be源，它主要用于新建反应堆的初始临界启动，但随着电厂运行，初级源将衰变失去效用。次级中子源常用锑—铍源。锑在反应堆内经中子辐照后释放出γ射线轰击铍，产生中子，主要用作已运行反应堆换料后再启动的点火源。

(撰写：杜圣华 审订：潘系人)

zhongzi zhaoxiangshu

中子照相术 neutron radiography 利用中子束穿透物体时的衰减状况，以获取物体内部信息(结构或缺陷)的照相技术。按所用中子的能量可分为冷中子照相、热中子照相、中能中子照相和快中子照相。在实际应用中，多为热中子照相。某些重金属如铁、铅和铋对热中子的衰减能力比氢、锂和硼等轻物质小很多。因此，中子照相能检测出金属中的少量有机材料。这一特点正好弥补了X、γ射线照相的不足，完善了射线照相探伤的技术系统。目前中子照相多用于航空航天工业、兵器工业以及核工业燃料元件的检测。

(撰写：絧大卫 审订：吕延晓)

zhongzi zhuliang

中子注量 neutron fluence 在给定时间间隔内进入以空间某点为中心的适当小球体的中子数除以该球体的最大截面积的商。单位时间内的中子注量为中子注量率。中子注量的常用单位为 n/cm^2。中子注量率过去习称中子通量密度或中子通量，单位为 $n/(cm^2 \cdot s)$。 (撰写：赵文荣 审订：丁大钊)

zhongzi zhulianglü

中子注量率 neutron fluence rate 见中子注量。

zhongzi zhulianglü celiang

中子注量率测量 measurement of neutron fluence rate 测定空间一点上，在单位时间内射入以该点为中心的小球体中的中子数目除以该球体的最大截面积所得的商。常用 ϕ 表示，单位是 $cm^{-2} \cdot s^{-1}$。由于中子不带电，不能使物质直接产生电离。要测量中子则要通过它与物质的原子核发生相互作用产生能引起电离的次级粒子来实现。这些相互作用有：产生带电粒子的核反应、核反冲、核裂变和活化等。产生带电粒子的核反应，最常用的是 $^{10}B(n,\alpha)^{7}Li$，$^{6}Li(n,\alpha)T$，$^{3}He(n, p)T$ 等核反应。核反冲则主要用中子引起氢核的反冲，中子注量率测量的标准装置主要是基于测量反冲质子。根据不同中子能量用不同的探测器，如：含氢正比计数管，用于 0.1～1.5 MeV，反冲质子望远镜用于 1.5～20 MeV。核裂变，用得最多的是装有 ^{235}U，^{238}U 样品的裂变电离室。^{235}U 裂变电离室多用于热中子注量率测量。^{238}U 因其是有阈裂变，所以多用于测量 6 MeV以上能量中子，它对阈下中子不灵敏，受散射中子影响小。活化法，测量热中子注量率主要用 $^{197}Au(n,\gamma)^{198}Au$，而测 14 MeV 的中子，则可用 $^{56}Fe(n, p)^{56}Mn$ 和 $^{27}Al(n,\alpha)^{24}Na$ 等核反应。这些靶物质易于获得高纯度，化学性能稳定，产物核易于测量，半衰期适中，反应截面准确度高。

(撰写：容超凡 审订：丁声耀)

zhongzi zhulianglü fenbu celiang

中子注量率分布测量 in-core neutron fluence rate mapping 对核反应堆堆芯中子注量率分布的测量。典型的测量系统使用小型裂变室、自给能探测器，或者利用安装在堆芯适当位置的金属丝或金属片，测其不同的感生放射性活度分布。本测量的功能是：在新堆建成调试时，校准功率分布是否与寿期初的堆芯设计相符，校核事故研究用的热点因子取值是否保守，校准核仪表的功率区段和中间区段等；在反应堆正常运行时，验证随着燃耗加深的堆芯功率分布是否与设计相符，监测燃料组件燃耗以及定期校准核仪表测量值等。总的来说，中子注量率分布测量的目的是验证反应堆核设计和校准核仪表。目前商用核电厂广泛应用的是用小型裂变室作探测器、从压力容器底部驱动它们进入堆芯进行径向和轴向各点中子注量率测量的装置。也有从堆顶用压缩气体将含钒钢球吹入堆芯进行活化和测量的气动球测量系统。还有极少数用自给能探测器固定安装在堆芯内进行测量的设计方案。本系统在核电厂运行期间是定期使用的，不属于安全级系统。

(撰写：赵善德 审订：孙玉发)

zhongzi zhulianglü zhanping kongzhi

中子注量率展平控制 neutron flux flattening control 通过引进中子吸收体或改变燃料富集度等方法、使堆芯中子注量率达到近似平坦的分布。反应堆运行过程中保持较为平坦的中子注量率分布，可以延长堆芯寿期，在相同的热功率输出下提高反应堆的安全性。以压水堆为例，展平堆芯中子注量率分布的主要措施有：(1) 不同富集度的燃料径向分区、轴向分段装载；(2) 同时采用可燃毒物和可溶硼控制堆芯后备反应性，尽量减少运行状态下插入堆芯控制棒的数量；(3) 可燃毒物采用不同浓度或不同毒物棒数量的分区装载；(4) 采用对堆芯中子注量率分布扰动较少的棒束控制，并按最佳提棒程序运行。 (撰写：章宗耀 审订：卜永熙)

zhonghunningtu

重混凝土 high-density concrete；heavy concrete 用于屏蔽γ辐射和中子、密度大于 $2.7\ t \cdot m^{-3}$ 的各种混凝土。重混凝土通常采用铁矿石、重晶石、碎钢铁、小铁珠等高密度物质作为混凝土的添加骨料，采用适当的配比达到所需的密度。重混凝土对于γ辐射和中子有很好的屏蔽效能。密度提高，屏蔽γ射线的能力随之提高；含氢量提高，屏蔽中子的能力也随之提高。常用重晶石等含结晶水的材料作为骨料，以提高屏蔽中子的能力。重混凝土大量应用于热室、热实验室、反应堆等核工程中作为重要屏蔽材料。

(撰写：许源振 审订：郑华铃)

zhonglizi fangshexing

重离子放射性 heavy ion radioactivity 原子核自发地放射出重离子的现象，亦称集团放射性或集团衰变等。20世纪70年代至80年代初，人们预言了重离子放射性存在的可能性。1984年英国科学家首次观测到 ^{223}Ra 具有重离子放射性，即 ^{223}Ra 可以通过自发发射 ^{14}C 衰变至 ^{209}Pb，相对 α 粒子的分支比为 $(8.5 \pm 2.5) \times 10^{-10}$。至今，已发现从 ^{221}Fr 至 ^{238}Pu 共有18种核素具有重离子放射性，被发射的重离子有 ^{14}C、^{20}O,^{23}F, ^{22}Ne, ^{24}Ne, ^{28}Mg, ^{30}Mg 和 ^{32}Si 等，相对于 α 粒子的分支比在 $10^{-17} \sim 10^{-10}$ 范围。大多数是用固体径迹探测器测量的。重离子放射性的研究可以提供重离子发射机制和核结构的信息，但至今尚未获得统一认识，还有待在实验上和理论上进行深入研究。 （撰写：卢希庭 审订：叶沿林）

zhonglizishu hejubian

重离子束核聚变 nuclear fusion driven by heavy ion beam 利用重离子驱动器产生的强流重离子束辐照含有氘氚热核燃料靶丸，使靶丸加热、压缩、点火、燃烧释放热核反应能量。重离子束加速器能提供高脉冲能量，与靶耦合效率高，可重复频率运行，耐用、可靠，被认为是未来惯性约束聚变反应堆的主要候选者。对于2～10 GeV的氙、铯、铋重离子产生高增益靶丸内爆要求的束功率约为 4×10^{14} W。重离子束驱动器主要分为两类：一类为感应加速器；另一类为射频加速器。由于空间电荷限制的极限电流为数千安，而总束流要求数百千安，因此要采用多束。对于间接驱动，把重离子能量转换成X射线，要求离子束强度约 10^{15} W/cm^2，相应焦点直径小于3 mm。目前重离子束聚变研究仅限于理论研究和重离子束加速器基本实验工作。

（撰写：单玉生 审订：杨大为）

zhonglizishu qudongqi

重离子束驱动器 heavy ion beam driver 驱动惯性约束聚变的重离子束装置。2～10 GeV的氙、铯、铋重离子在靶上有合适的射程与高的能量沉积。为产生聚变要求重离子束脉冲宽度为10 ns、束流为100 kA量级。重离子束加速器有两类：感应加速器和射频加速器。前者束流强、技术相对简单。空间电荷为主的强流重离子束由感应盒周期加速，由交变梯度四极聚焦磁铁对束流进行导向传输，加速器效率高达20 %～30 %。重离子束驱动器的关键技术是强束流的获得与传输，以及减小束的发散度。 （撰写：单玉生 审订：杨大为）

zhonglizi zhiliao

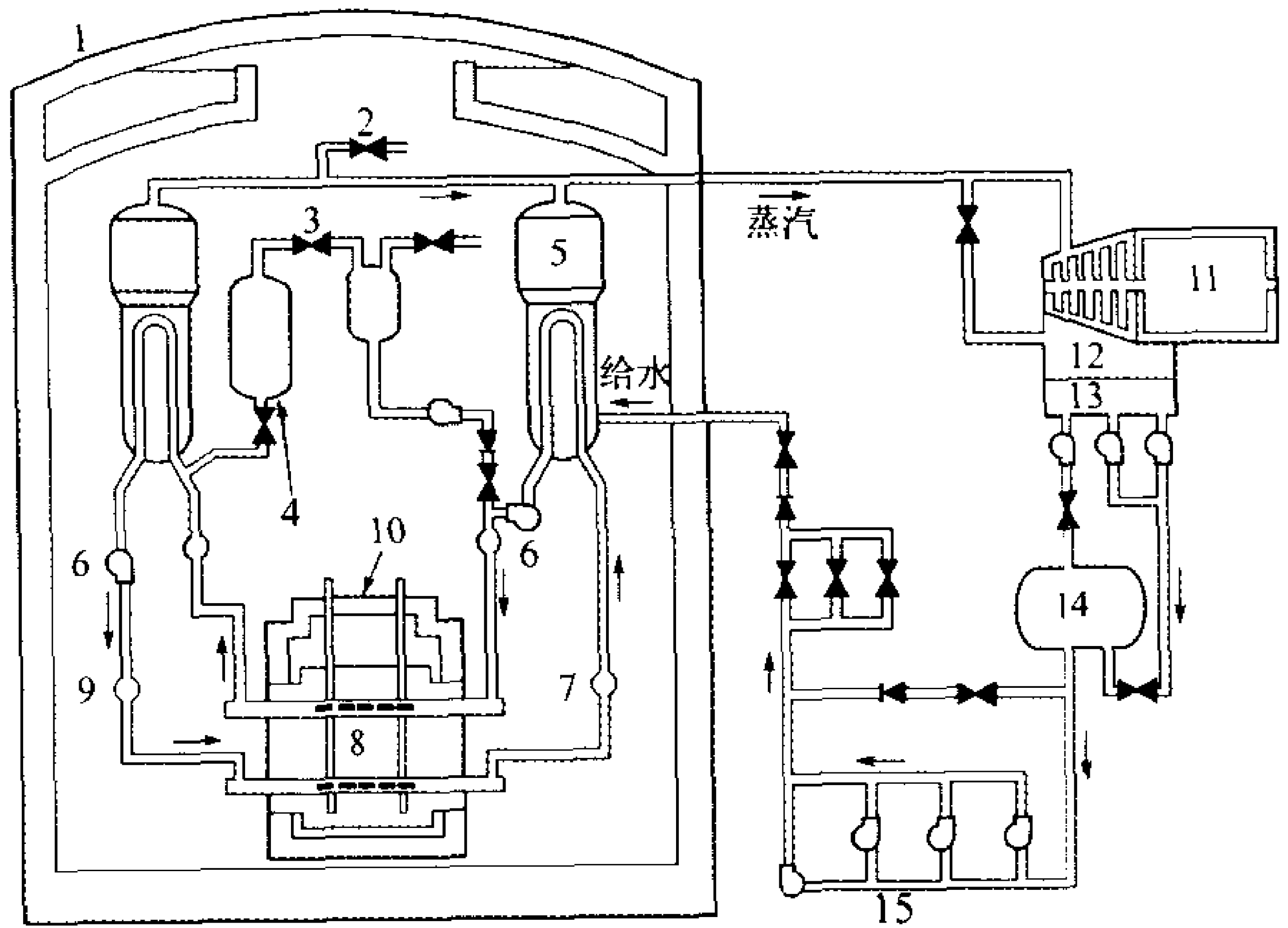
重粒子治疗 heavy particle therapy 利用重粒子（主要指元素周期表上18号元素以前的原子，如氦、碳、氮、氖等）的重离子治疗肿瘤的一类方法。这些粒子由于质量大，传能线密度高，相对生物效应强，氧增强比低，可获得较理想的剂量分布，因此特别有利于一类对轻粒子（光子与电子）抗拒或修复能力大的恶性肿瘤的治疗。由于设备造价昂贵及运行技术复杂，目前重粒子治疗还处于医学实验阶段，然而，其治疗效果令人鼓舞。 （撰写：王荣福 审订：吕延晓）

zhongshui chuchuan gongyi

重水除氚工艺 process of elimination tritium from heavy water 从含氚重水中脱氚或降低氚浓度的工艺。含氚重水的主要来源是重水堆的慢化剂和冷却剂。其特点是氚的浓度低，但放射性活度高，危害大。因此必须对含氚重水进行除氚处理。处理的办法是先将氚浓缩到少量重水中或者转移到气体中，再行处置，而使大部分重水中氚的浓度降低到比较安全的水平。氚是氢和氘的同位素，因而除氚在技术上难度较大。可供选择的工艺有水精馏和纯电解法，但由于能耗太高而不切合实际；采取气相催化交换、液相催化交换以及电解结合催化交换等工艺，相对要经济一些。在法国和加拿大已实现气相催化交换的工业应用，但仍存在反应温度高等缺点。 （撰写：韩延德 审订：卢浩琳）

zhongshuidui hedongli zhuangzhi

重水堆核动力装置 HWR nuclear power unit 以重水堆为热源的核动力装置。加拿大CANDU型重水堆的冷却剂系统分为两条循环环路（见图），每条环路由2～6台蒸汽发生器



CANDU型重水堆核动力装置流程原理图

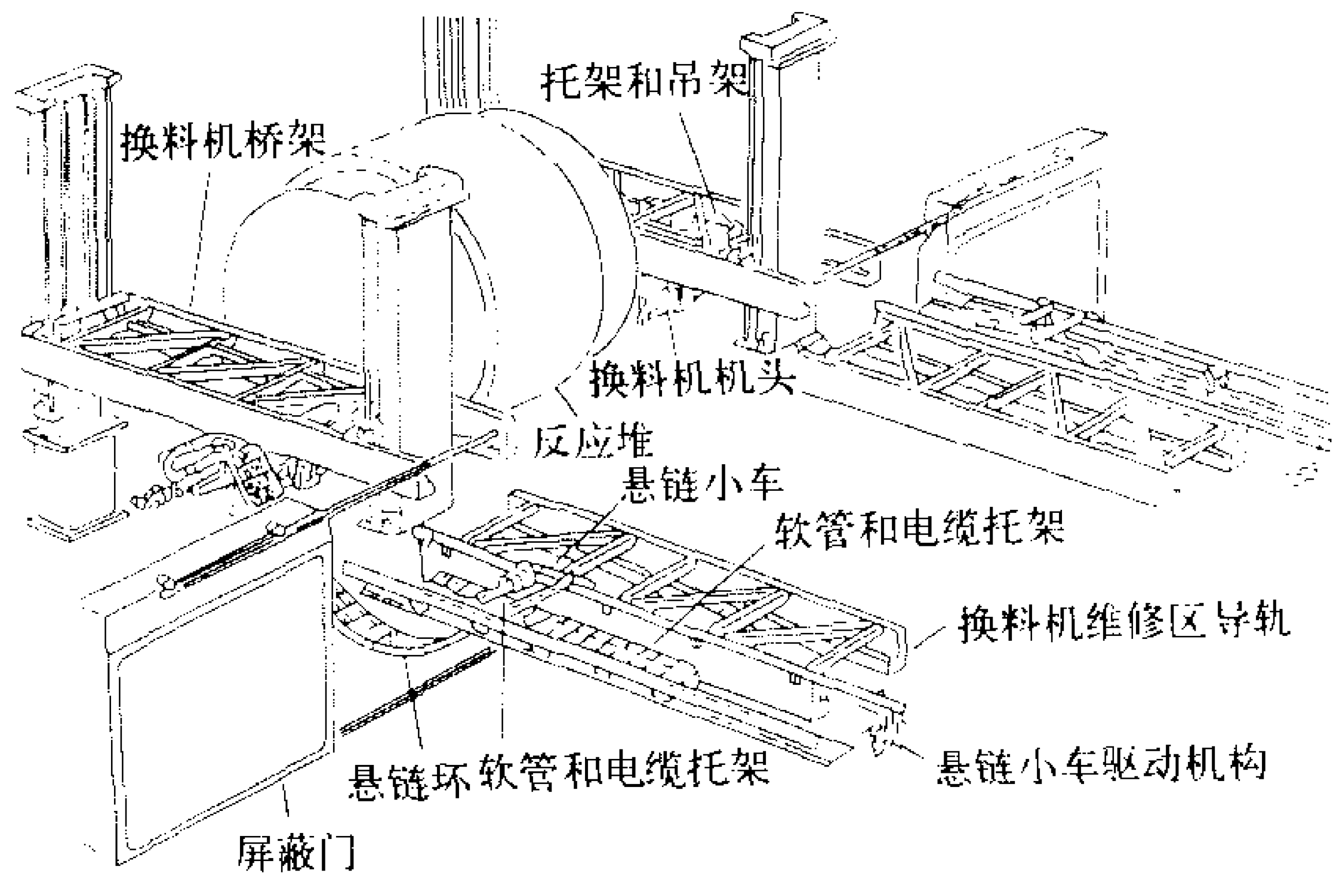
1—安全壳；2—排汽阀；3—卸压阀；4—稳压器；5—蒸汽发生器；6—主泵（重水泵）；7—出水母管；8—反应堆；9—进水母管；10—排管容器；11—发电机；12—汽轮机；13—凝汽器；14—除氧器；15—给水系统

和2～8台循环泵组成。核裂变产生的热能由冷却剂传送给二回路，产生蒸汽送入汽轮机做功。

（撰写：杜圣华 审订：张维忠）

zhongshuidui huanliaoji

重水堆换料机 refueling machine for HWR CANDU型重水堆在不停堆情况下进行换料操作的设备。反应堆的两端分别设置了功能相同、动作完全对称的换料机各一台。每台换料机均能执行装料或接收燃料的动作。换料机主要由换料机机头、桥架、悬链小车、维修区导轨等部件组成（见图）。换



CANDU型重水堆换料机示意图

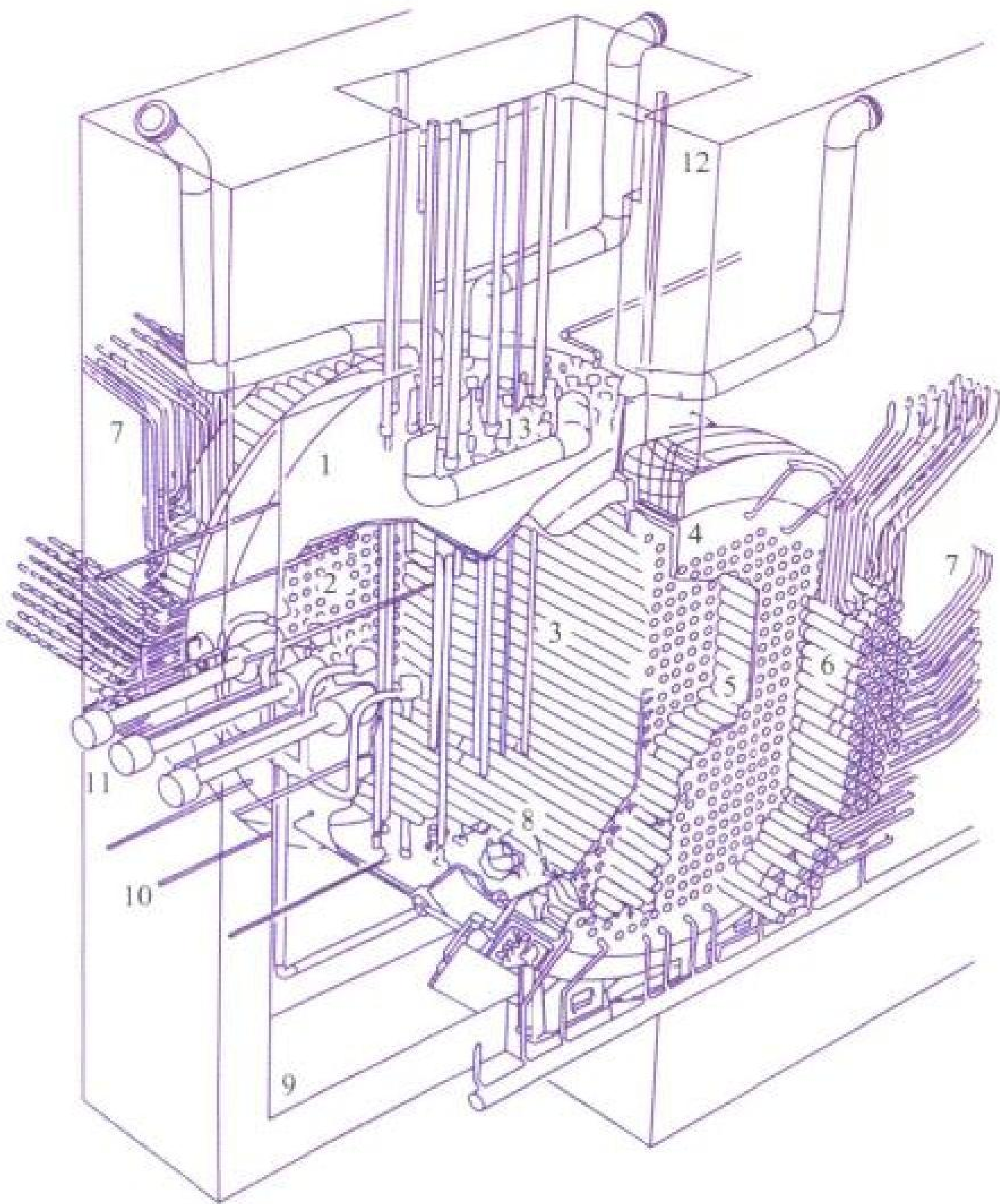
Z

料机机头贮仓具有若干可自动旋转且同心定位的装料工位。借助机头的移动及其自身的定位装置，使机头与反应堆排管容器的压力管端部装置对接，并提高压力到与压力管内的压力一致。通过电气控制系统，机头能自动取走密封塞和屏蔽塞，自动装入新燃料或接收乏燃料（参见重水反应堆）。

（撰写：沈海达 审订：潘系人）

zhongshuidui paiguan rongqi

重水堆排管容器 calandria vessel for HWR CANDU 型重水堆的反应堆容器（参见重水反应堆）。它的主要功能是包容重水慢化剂、支承燃料管道组件和反应性控制机构、并提供端部屏蔽，以便于进行不停堆换料。排管容器由壳体、容器管、两个端屏蔽等主要部件组成（见图）。排管容器壳体是一个奥氏体不锈钢制成的卧式圆筒。它容纳重水慢化剂，并支承垂直的和水平的反应堆控制和测量装置。在排管容器的两个端屏蔽之间装有容器管，它们按正方形栅格排列，燃料管道组件贯穿各个容器管。端屏蔽靠循环的轻水带走辐射产生的热量。排管容器室的端墙中埋有预埋圈，端屏蔽支承环分别与预埋圈和容器壳体的管板焊接相连，使整个排管容器固定支承在混凝土排管容器室的端墙中。



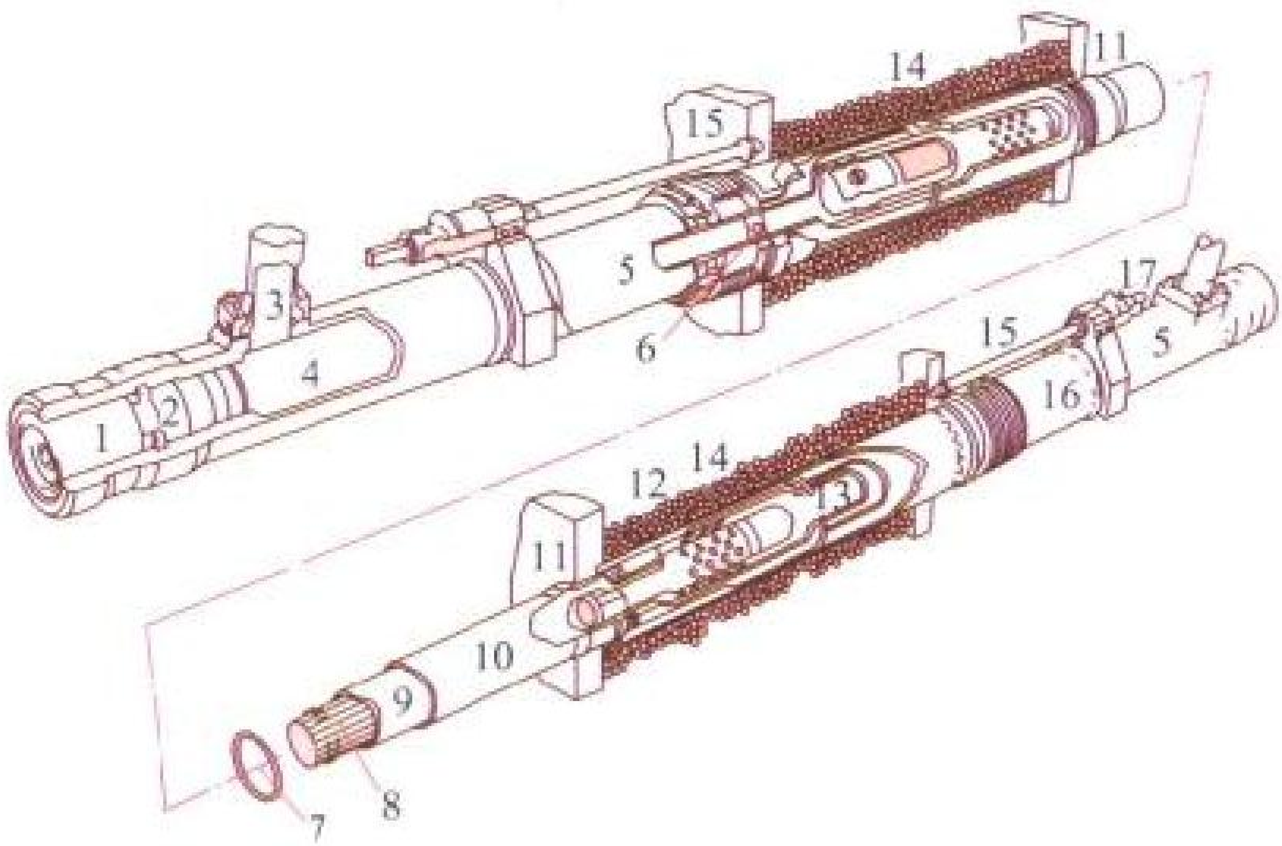
CANDU 型重水堆本体结构示意图

1—排管容器壳体；2—排管容器侧管板；3—栅格管；4—预埋圈；5—端部屏蔽；6—端部装置；7—冷却剂入口；8—慢化剂出口；9—慢化剂入口；10—水平中子注量率探测装置；11—电离室；12—排管容器室墙；13—反应性控制装置管嘴

（撰写：沈海达 审订：潘系人）

zhongshuidui yaliguan

重水堆压力管 pressure tube for HWR CANDU 型重水堆堆芯内将燃料组件支承和定位并形成冷却剂流道的部件。它与一回路热传输系统相连，是反应堆冷却剂压力边界的一部分。重水堆燃料管道组件由压力管、两个端部装置及其接头组成（见图）。压力管采用 Zr–2.5% Nb 合金制造，它具有吸收中子少、良好的抗腐蚀性能、抗蠕变、强度高和堆内寿命长等优点。压力管外套有四个环形定位圈，使压力管与外面的排管容器管之间有一环隙。在此环隙内有干燥的 CO_2 气体循环流动，作为冷却剂与慢化剂之间的隔热层。



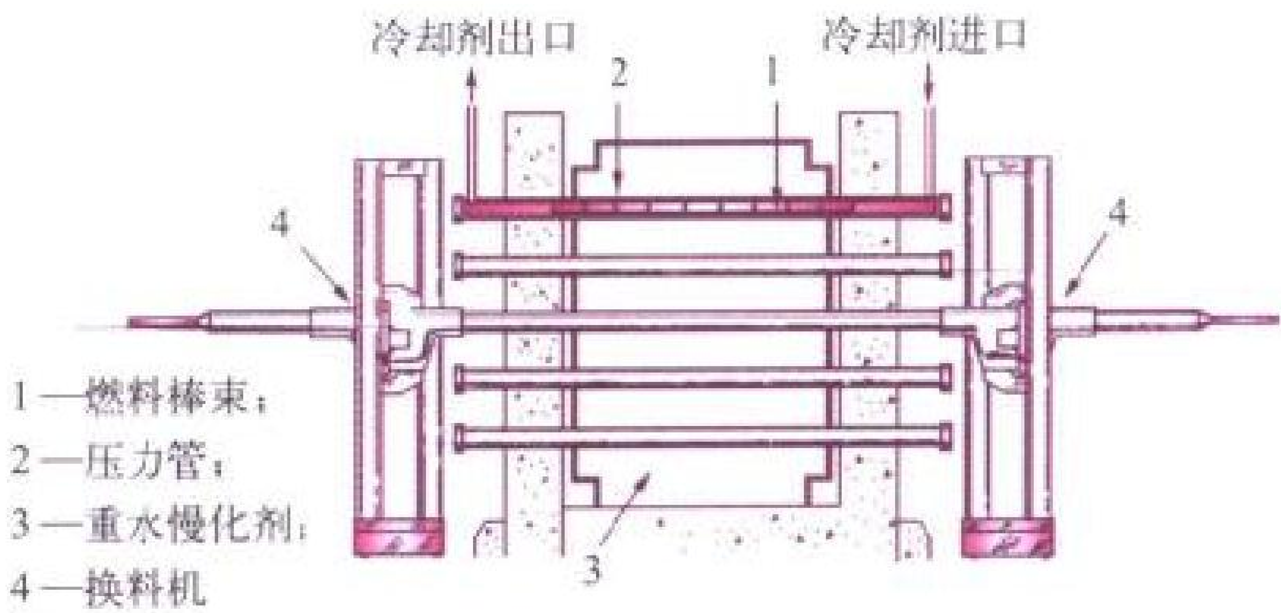
CANDU 重水堆燃料管道组件示意图

1—燃料管道密封塞；2—密封塞弹性密封插入件；3—冷却剂入口管座；4—衬管；5—端部装置本体；6—端部装置轴承；7—管子垫圈；8—燃料棒束；9—压力管；10—排管容器管；11—排管容器侧管板；12—端屏蔽栅格管；13—屏蔽塞；14—端屏蔽的屏蔽球；15—装料机侧管板；16—燃料管道环形波纹管；17—燃料管道定位组件

（撰写：沈海达 审订：潘系人）

zhongshui fanyingdui

重水反应堆 heavy water reactor (HWR) 简称重水堆（见图）。以重水作为慢化剂的核反应堆。重水堆广泛用作动力堆、核燃料生产堆和研究试验堆。由于重水的热中子吸收截面很小，重水堆可使用从天然铀到各种富集度的铀（钚）作燃料，并有通过 Th-U 循环实现核燃料增殖的可能。发电用重水堆按堆体结构分为压力容器式和压力管式两种。压力容器式重水堆的结构与压水堆相似，它限于用重水作冷却剂。压力管式重水堆可用重水或沸腾轻水、CO_2、有机物（如三联苯）等作冷却剂。目前发展成熟的商用堆型只有天然铀—加压重水冷却的加拿大坎杜（CANDU）型压力管式重水堆，其优点有：(1) 天然铀消耗量小；(2) 实行不停堆换料，因此核电厂的可用率和负荷因子较高，使发电成本具有竞争力；(3) 乏燃料中 ^{235}U 丰度已低于扩散厂尾料，可不必进行后处理，使燃料循环大大简化而仍得到较高的铀资源利用率。缺点有：(1) 重水装载量大，提高了投资费用；(2) 重水密封防漏的问题多，增加运行维修的困难和费用。



压力管式重水反应堆示意图

（撰写：连培生 审订：陈叔平）

zhongyousuanan

重铀酸铵 ammonium diuranate 一种橙黄色非化学计量(具体组成与沉淀条件有关)的铀化合物。它是铀水冶厂主要产品形式之一，也是铀纯化精制、转化工艺过程中重要的中间产品，又称 ADU 沉淀。重铀酸铵的近似分子式写作 $(NH_4)_2U_2O_7$，但实际组成较复杂，存在多种组成不同的化合物。这些化合物化学结构可用以下通式来表示：$UO_3 . xNH_3 (2-x) H_2O$。重铀酸铵在不同温度下煅烧，可分别制得 UO_3 和 U_3O_8。铀水冶厂普遍采用价廉、易得的氨水（浓度一般为 20 %～25 %)作沉淀剂，从铀矿石硫酸浸出液、离子交换的酸性淋洗液或溶剂萃取的酸性反萃取液中沉淀重铀酸铵，生产中需要根据料液的组成，优选并严格控制沉淀条件，如pH值、温度、时间、沉淀剂的加入方式和速度等，以使沉淀产品的纯度符合标准，同时具有良好的物理性能。

（撰写：赵锡熊　审订：许根福）

zhongzi

重子 baryon 重子数不为零的强子。构成普通物质的质子和中子就属于重子。重子是自旋为半整数的费密子，服从费密—狄拉克统计。重子相互间有强相互作用。重子是由重子数为1/3的夸克及重子数为0的胶子组成的。重子中最常见的是核子(质子 p 和中子 n)，它们的夸克组分由下式给出：

p: (u u d),　　n: (u u d)

核子的自旋宇称为 $1/2^+$。当核子中一个 u 或 d 夸克被置换成一个 s 夸克后，就产生新一类重子态，其自旋宇称成为 $1/2^+$，奇异数 S 为 −1，成员包括三重态 $\Sigma^+, \Sigma^0, \Sigma^-$ 粒子和单态 Λ 粒子，质量约为 1.2 GeV。如果核子中有两个夸克被置换成 s 夸克，则得到自旋宇称同样为 $1/2^+$，而奇异数 $S= -2$ 二重态 Ξ^0, Ξ^- 粒子。上述 8 个自旋宇称均为 $1/2^+$ 的重子，被称为重子八重态。类似的，还可以由三个夸克构成自旋为 3/2 的重子。在各种相互作用过程中，重子数是守恒的。

（撰写：班 勇　审订：叶沿林）

zhouqixing jujiao xitong

周期性聚焦系统 periodic focusing system 在束流传输线和粒子加速器中常用的横向聚焦系统，它由位置和场强周期性排列的聚焦、散焦、漂移段及偏转磁铁组成，与此相对应的是非周期性聚焦系统。周期性聚焦系统由多个相同的聚焦周期单元组成。常见的聚焦周期单元有 FOBDOB (“F”代表聚焦透镜，“D”代表散焦透镜，“B”代表偏转元件，“O”为漂移节)，FDFOB 或 DFDOB 和 FOBFDOBD。在周期性聚焦系统中，任何相距为周期长度整数倍的点处的聚焦参量 α,β,γ 和色散函数 η 的值均相等，而两点间的相移为该周期单元的相移的整数倍。周期性聚焦系统的研究涉及求解线性周期性微分方程的问题，聚焦参量 α,β,γ 则是方程的解中的参量。用矩阵方法可得到周期性聚焦系统的聚焦参量；而在传输线和加速器设计中，则需要用计算机进行匹配和优化。

（撰写：张 闯　审订：方守贤）

zhouwei jiliang dangliang

周围剂量当量 ambient dose equivalent [$H^*(d)$] 辐射场中某点处的周围剂量当量 $H^*(d)$ 是相应的扩展齐向场在ICRU球内、逆齐向场的半径上深度 d 处产生的剂量当量。周围剂量当量的单位为焦耳每千克 ($J \cdot kg^{-1}$)，专用单位名称为希沃特 (Sv)。深度 d 以毫米 (mm) 表示。对于强贯穿辐射，推荐深度 d 为 10 mm，因此该深度的周围剂量当量用 $H^*(10)$ 表示。对于弱贯穿辐射，对皮肤和眼晶体的深度分别采用 0.07 mm 和 3 mm，其周围剂量当量分别用 $H^*(0.07)$ 和 $H^*(3)$ 表示。$H^*(d)$ 的测量一般要求辐射场在仪器范围内是均匀的，并要求仪器具有各向同性的响应。

（撰写：董柳灿　审订：潘自强）

zhouxiang bujunyun yinzi

轴向不均匀因子 axial peaking factor 某燃料元件（或组件）轴向最大释热率与该燃料元件（或组件）轴向平均释热率之比。通常使用三维中子扩散计算方法求得该因子。当用堆芯热通道和平均通道两个并联通道进行热工分析时，需要分别求出热通道和平均通道的轴向不均匀因子。轴向不均匀因子会随控制棒移动、燃耗、倒换料而发生变化。

（撰写：李金才　审订：马昌文）

zhudong kongzhi

主动控制 active control 又称积极控制。退役核设施必须根据国家和地方政府有关法律法规要求，结合核设施所在地区自然状况和社会经济发展特点，采取有效的治理工程措施，开展检测和监督。使核设施退役及环境治理效果长期安全可靠，满足国家及地方环境标准要求。主动控制必须与被动控制紧密结合，使核设施退役和环境治理工程达到长期安全稳定的目的。

（撰写：潘英杰　审订：赵亚民）

zhuguan dangju pizhun zhengshu

主管当局批准证书 competent authority approval certificates 放射性物质运输主管当局审查设计者和发货者申报的特殊形式放射性物质、低弥散性放射性物质、货包设计和装运方案等的申请书后，认定该申请书所包含的内容符合放射性物质运输安全规程及有关法规、标准和规范要求而颁发的具有法律效用的一份正式文件。主管当局颁发的批准证书有下列 5 类：特殊形式放射性物质、低弥散性放射性物质、特殊安排、装运和货包设计。货包设计和装运批准证书可以合并成一份证书。取得主管当局批准证书后方可加工、制造和托运。

（撰写：董柳灿　审订：赵亚民）

zhuguandao cailiao

主管道材料 materials for main pipe 用于制造反应堆冷却剂管道的材料。压水堆的主管道用于连接反应堆、蒸汽发生器和主泵，由直管、弯头、三通等组成。主管道材料的优劣直接影响到反应堆的安全。主管道如果破损，反应堆将发生严重的失水事故，进而可能引起堆芯熔化。早期压水堆主管道采用 304 不锈钢，锻造空心坯料，再镗孔定径。目前大多采用抗应力腐蚀和抗晶间腐蚀等性能更优的含钼316不锈钢锻造成型，或采用与之相当的 ASME CF8M 离心铸造管。也有用碳钢或低合金钢制造，再在内部堆焊 4～5 mm 的 18-8 不锈钢覆盖层。

（撰写：张裕林　审订：杜圣华）

zhujishui guandao polie shigu

主给水管道破裂事故 main feed line break accident (MFLB) 压水堆核电厂中由主给水管道破裂引起的事故。它是“二回路系统引起的排热减少”类事故(失去热阱事故)中最严重的一种，属 IV 类工况(极限事故)。蒸汽发生器与给水逆止

阀之间管道出现破口，使主给水中断，蒸汽发生器内的二次侧水通过破口不断排出。事故初，因停堆的作用，一回路温度和压力下降。随后，受损蒸汽发生器传热管裸露，一次侧向二次侧传热恶化，使反应堆冷却剂温度和压力迅速升高。为避免反应堆冷却剂系统压力边界和反应堆堆芯遭到破坏，并尽可能防止一回路整体沸腾，核电厂应提供适当的停堆保护，适时提供足量的辅助给水，稳压器的释放阀和安全阀也要设计得具有足够容量。　(撰写：俞尔俊　审订：陈叔平)

zhu yan

主岩　host rock　在放射性废物的地质处置中，指能在其中建造高放废物处置库的岩石类型。主岩应具有足够的规模(体积和厚度)、良好的工程地质稳定性、热稳定性和隔离放射性废物的能力。目前考虑作为高放废物处置库主岩的有结晶岩(花岗岩、闪长岩和片麻岩等)、粘土岩(页岩)、塑性粘土、岩盐(盐层或盐丘)、凝灰岩和玄武岩等。我国拟选择花岗岩作为高放废物处置库的主岩。

(撰写：王　驹　审订：孙明生)

zhuzhengqi gelifa

主蒸汽隔离阀　main steam isolation valve　设置在核电厂主蒸汽管道上、隔断蒸汽发生器向汽轮发电机组供汽的阀门。它通常为快速关闭隔离阀，在核电厂正常运行工况下为全开，在事故工况下接收到主蒸汽管线隔离信号以后，根据反应堆的安全要求快速关闭。压水堆核电厂每台蒸汽发生器出口的主蒸汽管道上都各设有一个主蒸汽隔离阀。阀门下游安装有防甩装置，以保护主蒸汽隔离阀能承受阀门下游管道破裂产生的载荷。在主蒸汽隔离阀的两侧接有一条旁路管线，装有一个气动隔离阀和一个气动控制阀，用于核电厂启动期间平衡蒸汽隔离阀两侧的蒸汽压力，并在管线暖管时提供蒸汽流道。主蒸汽隔离阀的快速关闭是由快速排出液压缸下部的油来实现的。为了保证主蒸汽隔离阀的关闭，排油管线冗余设置为两条，单独一条管线即可满足快速关闭的要求。液压油排出后，主蒸汽隔离阀在氮气的作用下迅速关闭，关闭时间可短于 5 s。　(撰写：信天民　审订：范　刚)

zhuzhengqi guandao polie shigu

主蒸汽管道破裂事故　main steam line break accident (MSLB)　压水堆核电厂中由主蒸汽管道破裂引起的事故。它是“二回路系统引起的排热增加”类事故(冷水事故)中最严重的一种，属 IV 类工况(极限事故)。主蒸汽管道破裂后，与破损管道相连接的蒸汽发生器内的二次侧水形成蒸汽，从破口喷出。蒸汽流量开始很大，可达额定流量的好几倍，以后逐渐减少。一回路向二回路传热增加，使一回路水的压力和温度迅速降低。由于反应堆具有负温度反馈，一回路水温度下降将对堆芯引入正反应性，事故发生后控制棒会下插，使反应堆停闭并具有一定的停堆深度，而引入的正反应性将使停堆深度减小，甚至重返临界，堆功率升高。这种事故带来三方面的危害：(1) 反应堆重返临界及控制棒迅速下插造成的功率分布不均匀程度增大，有可能使堆芯燃料元件局部过热而损坏；(2) 二回路内少量放射性物质可能向环境释放；(3) 大量的二次冷却剂带着热量进入安全壳，使安全壳内压力升高，危及安全壳的完整性。为抗御主蒸汽管道破裂事故，要求核电厂一回路有较大的热容量；控制棒下插时有较大的停堆深度；具有注入硼溶液的能力以引入负反应性；在蒸汽发生器出口设置限流器，以减少管道破裂时的蒸汽流量。

(撰写：俞尔俊　审订：陈叔平)

zhubaoxing yuanzidan

助爆型原子弹　boosted atomic bomb　在裂变材料芯的中央空腔内注入少量氘氚气体，利用氘氚聚变反应放出的大量中子大大增加裂变，从而提高裂变装料利用率和增大威力的一种内爆法原子弹。是第二次世界大战后原子弹技术的重要发展。美国 1951 年 5 月 25 日在代号为“项目”(Item) 的核试验中第一次成功地进行了助爆裂变装置试验。这种武器的原理是先用炸药内爆使裂变系统达到超临界，由核点火部件(外中子源系统)放出中子引发链式裂变反应，利用裂变反应放出的能量使内爆压缩后的氘氚气体达到高温高密度，发生聚变反应放出大量高能中子，利用高能中子在裂变材料中的快速增殖大大增加裂变数，从而提高了裂变装料的利用率，增加了裂变威力。这种武器的反应过程经历裂变—聚变—裂变三个阶段。由于这种设计可以用低的裂变威力引发聚变反应，因此可减少炸药用量、缩小武器体积，对武器小型化有重要意义。同时它可以通过改变氘氚气体注入量来调节威力。因此，先进热核武器的初级也都用助爆型设计。但助爆也给核武器的设计与维护带来了许多困难。助爆型原子弹或氢弹初级都必须有外中子源系统等。充氘氚气体的薄壳状裂变材料层在内爆过程中会发生界面不稳定、轻重材料混合等复杂的流体力学现象。钢、铀、钚等材料在与氢及其同位素接触时容易发生氢致脆性。应用助爆设计的结果，使得先进的热核武器都离不开用氚。氚是贵重核材料，必须在核反应堆中生产，同时氚又是不稳定同位素，半衰期只有 12.3 a，供应的氚几年就要更新。库存核武器中问题出得最多的和禁核试后最担心出问题的都是助爆初级。(撰写：郑绍唐　审订：徐遒新)

zhucunqu

贮存区　storage area　在核设施厂区内用于暂时或长期存放某种放射性物质的设施或场所。例如放射性废液贮罐集中存放区、未辐照和已辐照燃料的干法和湿法贮存区、被污染的设备、闲置不用的放射源及固体废物暂存库等。设立贮存区是保证核设施经济、持续运行和安全可靠地管理这些放射性物质的一种选择，它的选址、设计、建造和运行必须保证核安全和符合保护公众健康、保护环境的要求。

(撰写：陈明竣　审订：胡遵素)

zhuce

注册　registration　辐射安全管理中对具有低、中风险的辐射实践活动的批准形式。批准予以注册的前提是：申请进行某一辐射实践活动并对其负责的法人已按核安全监管规定要求编制并向核安全监管机构提交了进行该实践活动及其有关设施、设备的安全分析报告和(或)环境影响评价报告。核安全监管机构批准时可能还会视情况附加相应的条件和限制。

(撰写：吴德强　审订：华　旦)

zhucezhe

注册者　registrant　获准注册某一辐射实践活动或辐射源的申请者。申请者一旦获准成为注册者，就被认为他已承担对该辐射实践活动或辐射源的权利、责任和义务，特别是有关辐射防护和辐射源安全的权利、责任和义务。

(撰写：吴德强　审订：华　旦)

zhubo zhixian jiasuqi

驻波直线加速器 standing wave linac 一种射频电磁波以驻波形式在其中与带电粒子相互作用的直线加速器。射频电磁波从加速管中部任何一点输入，然后在两端往复反射，形成驻波。由 n 个单元组成的加速管，共有 n 个模式，驻波直线加速器只能工作在某个模式上。加速器通常做成双周期结构，其中最常用的是边耦合腔结构。在边耦合腔结构中，射频系统工作在 $\pi/2$ 模式(稳定性好)，相邻加速腔构成 π 模式(效率较高)。工作在S波段时，π 模式的分路阻抗在 $90M\Omega/m$ 左右。与行波直线加速器相比，驻波直线加速器的优点是效率较高。在同样输入射频功率同样束流能量的情况下，驻波直线加速器可以大大缩短长度，这就是大部分医用加速器都做成驻波直线加速器的原因。

(撰写：罗应雄 审订：王传英)

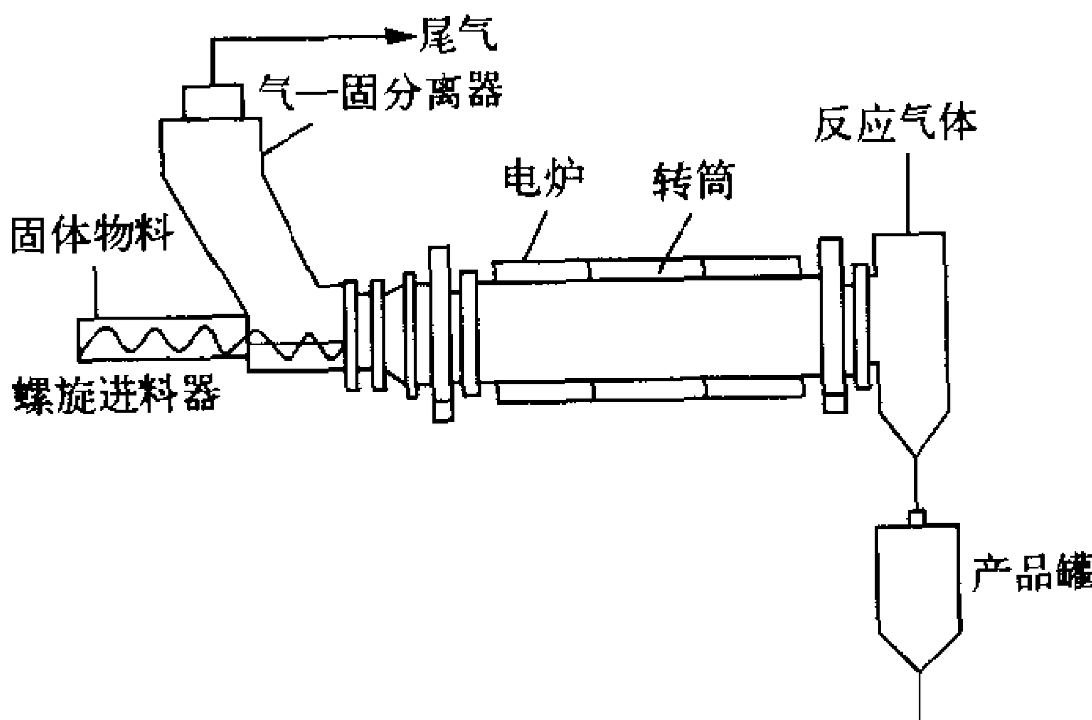
zhuanshe anquan sheshi

专设安全设施 engineered safety features (ESF) 核设施中设置的在事故工况下起用并执行安全功能的设施。它们应能控制事故的后果，使反应堆在事故后达到稳定的、可接受的状态。应急堆芯冷却系统、安全壳喷淋系统、安全壳消氢系统等就属于此类。然而，不少在事故工况下执行安全功能的设施也在正常运行工况下执行运行功能，如蒸汽发生器辅助给水系统；还有不少系统虽不直接完成安全功能，但对完成安全功能的系统起着支持作用，如设备冷却水系统以及为完成安全功能的系统提供通风、电源、压缩空气等，这些系统是否属于专设安全设施，提法并不一致。因此，“专设安全设施”并不是一个确切的术语，现在用“安全系统”这一术语来概括一切保证核反应堆停堆、从堆芯排出余热以及限制放射性释放中起作用的系统(参见安全系统)。

(撰写：俞尔俊 审订：陈叔平)

zhuanlu shengchan sifuhuayou

转炉生产四氟化铀 production of uranium tetrafluoride with rotary kiln UO_2 在转炉反应器中进行氢氟化以制备 UF_4 的过程。转炉反应器结构如图所示。所用 UO_2 是还原 UO_3 制得的。在一连续操作的加热至450℃的转炉内，UO_2 与已预热至250℃的无水HF气体接触并发生气固反应。HF需过量。为防止产品中生成 UO_2F_2 并保持炉内平衡压力，在HF气流中加少量 H_2 作为还原剂。含过剩HF的尾气在淋洗系统中用循环的稀碱液中和。这种办法的优点是：气固近似理想逆流接触，对转化反应有利；操作简单，运行平稳可靠。缺点是：设备传动复杂，不易密封；没有充分利用 UO_2 的大的活性表面；氟化剂与固体粒子表面接触不够充分，传热阻力大，热能利用率低，易产生局部过热现象；HF过量，要有庞大的尾气淋洗系统和废液处理系统。



转炉反应器示意图

(撰写：隋富志 审订：朱永赌)

zhuanyi fanying

转移反应 transfer reaction 见直接核反应。

zhuanyihu

转移弧 transfer arc 见电弧等离子体。

zhuanyi xishu

转移系数 transfer coefficient 放射性核素从一种环境介质向另一种环境介质转移时，两种介质之间的活度浓度之比值，或活度浓度与比活度之比值，或比活度之比值，当此值的量纲指数不为零时称为转移系数；量纲指数为零时称为转移因子(或因数)。

(撰写：张永兴 审订：陈竹舟)

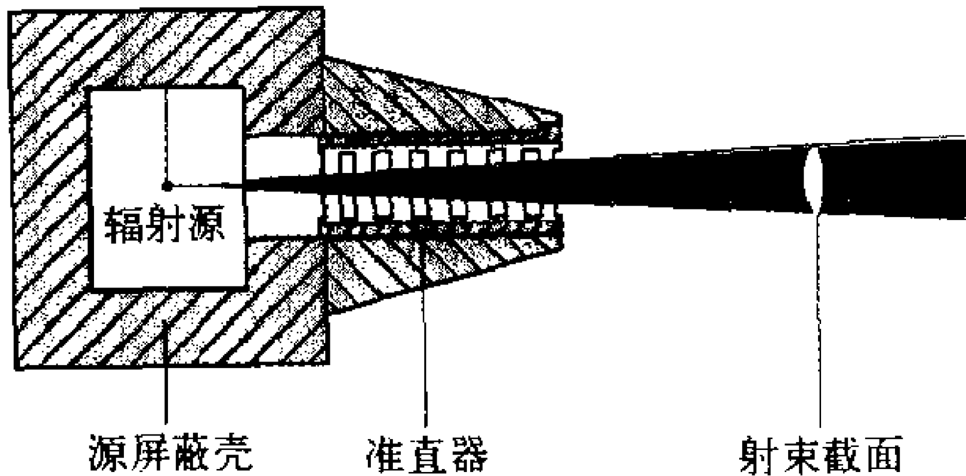
zhuangtai daoxiang yingji caozuo guicheng

状态导向应急操作规程 state oriented emergency operational procedure 根据核设施安全相关参量的当前值及所有安全功能受冲击的程度确定的核设施状态，将不同的事故状态转入长期安全状态的应急操作规程。采用状态导向应急操作规程，不要求先作事故诊断、不以特定事故为对象，可克服事件导向应急操作规程之不足，有利于处置复杂的局面。但是，它作为一种普适的事故操作规程，必然显得冗长，而不适用于特定事故。可综合事件导向和状态导向两者的长处，用状态导向规程辨认事故性质，维持安全功能，用事件导向规程来缓解特定的事故。

(撰写：俞尔俊 审订：陈叔平)

zhunzhiqi

准直器 collimator 限制粒子束或光子束横截面的装置。在辐射源的利用或某些辐射测量中，往往只需要选择利用或探测源发出辐射的一小部分，需要用准直器在空间上限定所利用或探测的粒子束或光子束的形状和大小，以避免无用辐射的干扰和危害。良好的准直器设计应尽可能保持被限定束的初级辐射特征。如图所示为一个准直装置的实例，它特别适用于 ^{60}Co 和 ^{137}Cs 辐射源的情况。准直器是圆锥形的，辐射源位于圆锥形的顶点，准直器由至少六个顺序排列的光阑组成，光阑总厚度约90 mm，光阑之间的空隙为20 mm，这些空隙充当前面光阑边缘所散射的光子的捕集器，最后一个光阑的厚度为3 mm，其孔径略大于该点的射束截面，这些光阑由钨合金制成(钨：89%，镍：7%，铜：4%)。这种装置对 ^{137}Cs 至多产生5%的散射光子，对 ^{60}Co 则更小。



准直装置示意图

(撰写：陈明焌 审订：胡遵素)

zitongdao

子通道 subchannel 人为划分用于精确计算反应堆堆芯内热工水力特性的一些平行的冷却剂流道。划分子通道后，考虑它们相互间的横向动量、质量和能量的交换，就可以更真

实地算出冷却剂的流场和温场。与不考虑通道间交混效应的闭式单通道模型相比，子通道模型给出的最热子通道冷却剂流速较高，冷却剂温升较低，燃料温度较低，临界热流密度较高，从而能更好发掘反应堆在热工上的潜力。子通道分析方法已成为现代水冷堆堆芯热工水力学详细设计的标准方法。常见的子通道程序有 COBRA 系列和 THINC 系列。

（撰写：李金才　审订：马昌文）

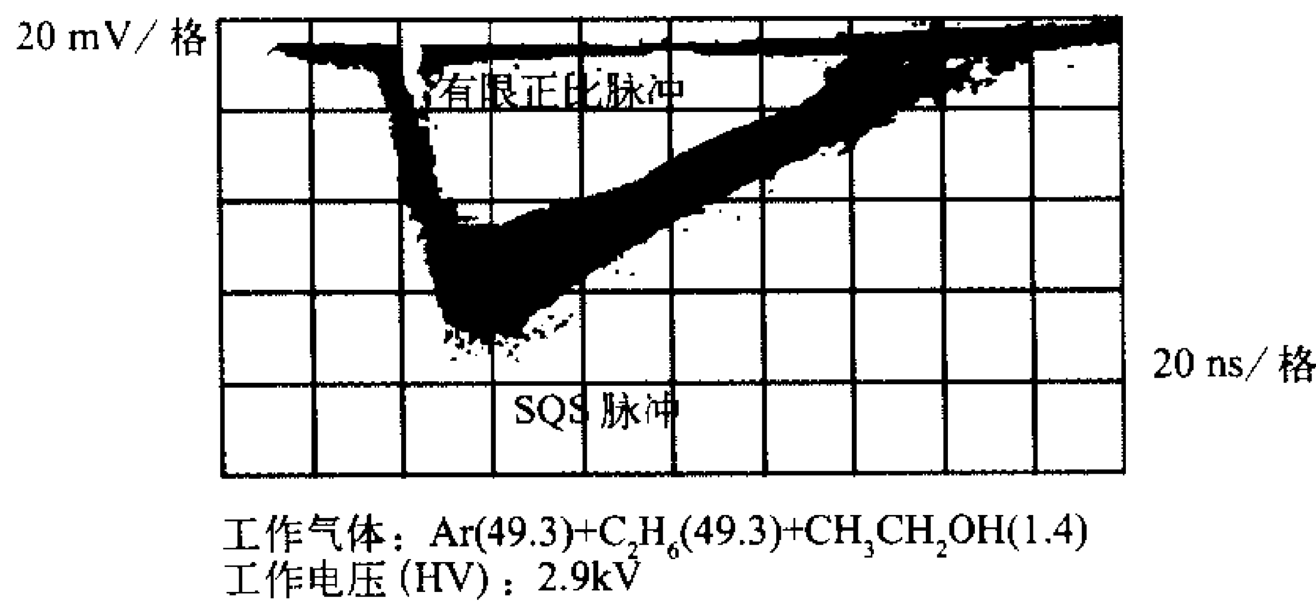
zichi rehe ranshao

自持热核燃烧　self-sustaining thermonuclear burn　聚变燃料系统点火后，依靠其自身热核反应释放的能量克服能量损耗持续在高温下燃烧下去的燃烧状态。标志热核燃烧剧烈程度的物理量是“燃耗份额”，即发生聚变反应的热核燃料质量与热核燃料初始质量之比。对于球形惯性约束系统，燃耗份额开始时随热核燃料密度 ρ 与半径 R 的乘积 ρR 的增大而增大，以后缓慢地趋于定值 1。ρR 称为面密度，面密度越大，约束越好，燃烧份额越大。另外在聚变燃料外面用惰层箍束，也可以提高燃耗份额。聚变燃料系统只有在它达到自持热核燃烧状态后，热核反应才能充分发展，聚变燃料才有比较深的燃耗，获得比较高的能量产额，也才有军事上或能源利用上的应用价值。创造聚变燃料系统的自持热核燃烧条件正是热核武器物理设计的技术关键所在。

（撰写：郑绍唐　审订：李沄生）

zicumie liuguang tanceqi

自猝灭流光探测器　self-quenching-streamer (SQS) detector　基于自猝灭流光放电模式的探测器。20 世纪 70 年代前后研究发现，在较粗的阳丝半径和较高的猝灭气体比例下，随着工作电压增加，计数管（或正比室）在进入有限正比放电区以后并不进入通常的盖革放电区，而是过渡到 SQS 的放电模式。SQS 放电模式具有如下特点：(1) 在某一工作电压区间，有限正比放电与 SQS 放电共存（见图），即对某一工作电压后



5.9 keV 的 X 射线在自猝灭流光管中的典型信号

者的电信号幅度比前者大一个量级。随着工作电压的增加，SQS信号所占比例更逐渐增大，最后完全进入SQS放电。(2) SQS 放电过程伴随有流光发生，用光学摄像机摄下的流光图像，表明流光是从阳极丝附近的初始雪崩区向着后续电子云到来的方向伸展，这表征 SQS 放电发展的空间局限性，它明显区别于盖革放电是沿阳丝传播的。(3) 对 SQS 电信号和流光信号的观察表明，从有限正比放电向 SQS发展的渡越时间从几十纳秒到几个纳秒，随猝灭气体比例的增加而减小，随工作电压的增加而减小。SQS 放电模式的特性说明，自猝灭流光探测器输出的电信号和光信号很好地保持了引起初始电离的入射粒子的时间和空间信息，再加上输出幅度大，使它在核物理和粒子物理实验以及在核技术应用方面得到较广泛的应用。

（撰写：许咨宗　审订：彭华寿）

zidong wenxiang yuanli

自动稳相原理　principle of phase stability　在一些共振加速器中，通过某些加速器参数的调制，可以使得相对同步粒子在能量和（或）相位上有一定偏离的非同步粒子能自动围绕同步粒子的相位作相振荡，与同步粒子一起获得加速，并随加速过程其相位逐渐趋于同步粒子的相位。这就是自动稳相原理。这里指的同步粒子是每次都在同一高频相位上通过加速间隙的粒子。

（撰写：王传英　审订：关遐令）

zifa dianchenji

自发电沉积　self-electrodeposition　又称电化学置换。水溶液中一种元素的离子自发地沉积在另一种金属电极上的过程。其基本原理是电极电位低的金属可以把电极电位高的金属离子置换出来，使之与溶液中其他离子分离。影响自发电沉积的因素，除了电极电位和溶液组成外，还有电极的表面状态和温度等。

（撰写：罗文宗　审订：崔安智）

zifaguang tuliao

自发光涂料　self-luminous paints　放射性物质混于发光基体（如磷光物质）之中而产生自发光的一类涂料。这种基于电离辐射激发的涂料与普通光激发的“暂时发光涂料”相比，它发光时间较长，故又称“永久发光涂料”或“永久发光粉”。常用的磷光物质是硫化锌（主要激活剂为铜），其发光效率高，稳定性好，使用期也长。发光颜色随添加的金属离子不同而改变，因而尚有硫化钙、硫化锶、硫化镉、钨酸钙、钨酸镉、硅酸锌和各种磷酸盐等用作磷光物质。早期采用的放射性物质多为镭、钍和新钍等。以后逐渐被发光性能稳定、毒性较小、易于防护和价格低廉的 β 发射体所替代。目前最为常用的是 ^{147}Pm 和 ^{3}H，其他尚有 ^{85}Kr 等。自发光涂料目前主要用于夜光钟表、工业仪表盘指针、出入口应急标识、公用电话拨号指示，以及军用微光夜间照明等。

（撰写：吕延晓　审订：蔡善钰）

zifa liebian

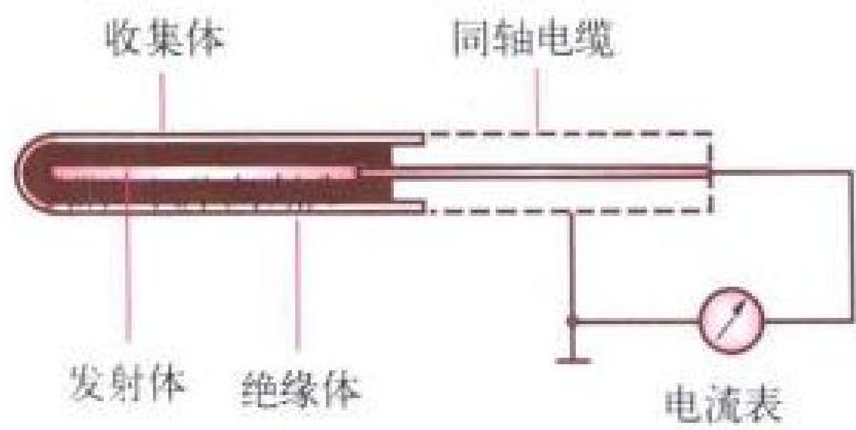
自发裂变　spontaneous fission　处于基态或同质异能态的重原子核在没有外加粒子或能量的情况下发生的裂变。原子核的能量虽然低于裂变势垒，但是由于量子力学隧道效应，裂变仍能发生。自发裂变半衰期的简化的量子力学公式为 $T_f \propto 1+\exp[2\pi(E_f-E)/E_w]$，这里 E 为核激发能，E_f 和 E_w 分别为裂变势垒的高度和曲率能。对基态自发裂变，$E=0$。裂变势垒高度的一般趋势是，核的 Z^2/A 值愈大，裂变势垒就愈低，其自发裂变半衰期愈短。^{238}U 和 ^{252}Cf 核素的自发裂变半衰期分别为 9.86×10^{15} a 和 85.5 a，而 Z=104 的 ^{260}Rf 自发裂变半衰期只有 20 ms。自发裂变是重核不稳定的主要因素，构成重元素的边界。早期液滴模型预言重核的 Z^2/A 不能超过 50。20 世纪 60 年代后期出现的理论预言，在 Z=114 和 126 附近有特别稳定的超重元素岛。1999 年已发表了人工合成的 Z=118 的超重核的实验论文。

（撰写：韩洪银　审订：张焕乔）

zijineng tanceqi

自给能探测器　self powered detector　无须外加电源，探测器内部的发射体在中子作用下，生成活化核而发射缓发 β 粒子，或俘获瞬发 γ 射线而发射电子，由发射的 β 粒子和电子形成电流，用于探测中子或 γ 射线的探测器。它由发射体、绝

缘体和收集体三部分组成（见图）。自给能中子探测器按其工作原理可分为衰变型与瞬变型两种。衰变型自给能中子探测器的发射体（铑、钡、银等）与中子发生(n,γ)反应生成具有β放射性的活化核。收集体收集后者发射的β粒子产生电流信号。瞬变型自给能中子探测器的发射体（钴）与中子发生(n,γ)反应。反应过程中产生的γ射线以一定的概率在发射体和绝缘体中打出康普顿电子和光电子，在外电路中形成一个正比于中子注量率的电流。该类探测器使用中不需外加偏压，结构简单，体积小，全固体化，造价低，且电子学设备简单。其缺点是输出电流信号弱，输出电流对中子能谱变化较灵敏，多数自给能探测器响应时间较慢。目前，自给能探测器主要用于反应堆堆芯中子注量率测量。用铂等作发射体可制成自给能γ探测器。



自给能探测器工作原理图

（撰写：汲长松　审订：彭华寿）

zilixing baoqiao

自立型包壳　free-standing cladding　又称弹性稳定型包壳。在与燃料芯体保持径向间隙情况下，完全依靠自身的结构刚度独立承受冷却剂压力而不致发生屈曲（弹性失稳）的包壳。目前，压水堆和沸水堆都采用自立型包壳。在分析包壳的稳定性时，应考虑包壳管腐蚀和吸氢引起的有效壁厚变薄，并应在冷却剂压力之外，同时考虑热应力、内部裂变气体及初始充压以及振动和地震作用在包壳中所造成的应力。

（撰写：张忠岳　审订：黄玉才）

zipingbi

自屏蔽　self-shielding　物体的外层对辐射吸收而使内层得到屏蔽，或辐射源物体本身对辐射的屏蔽统称为自屏蔽。后者在辐射屏蔽领域通常又称为自吸收（self-absorption）。一个真实的辐射源总是或多或少地存在着自屏蔽。自屏蔽造成两个主要后果：(1) 由于源材料的多次散射作用，使源发出的辐射能谱和角分布均产生了显著的改变；(2) 大型体源由于自屏蔽大大减少了对外的辐射量。这些因素在辐射源的屏蔽中均必须加以仔细的考虑。较为简单的考虑方法是将源和屏蔽体一起综合考虑。例如反应堆堆芯的屏蔽就是简化为存在于堆芯的一个中子和γ的分布源，而屏蔽材料也将堆芯材料考虑在内，这样就可以求解一个统一的输运方程而得到最后结果。

（撰写：华旦　审订：吴德强）

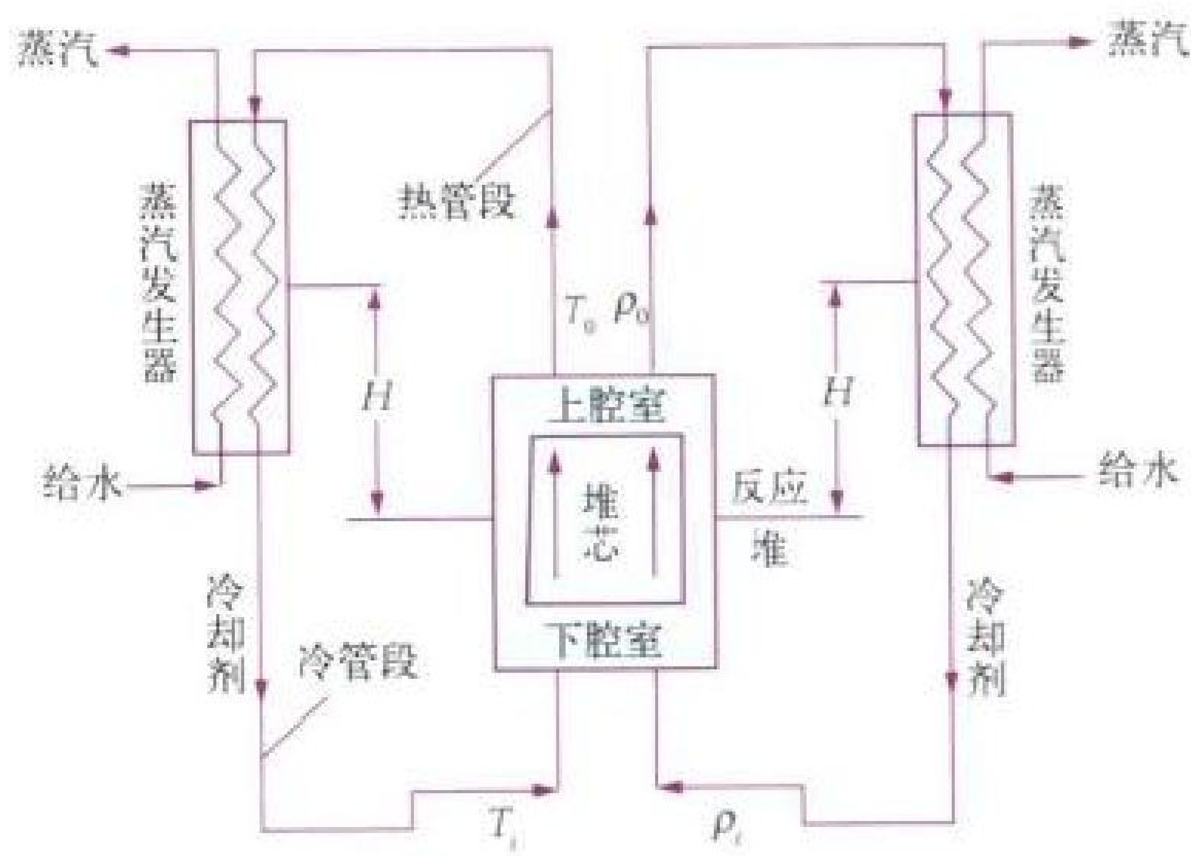
ziran leibi yanjiu

自然类比研究　natural analogue　也称天然类比研究。研究与地质处置放射性废物类似的天然现象及天然或人造物质经过漫长历史年代之后的变化。自然类比研究的对象是不受人控制的自然过程，它能提供实验室和地下实验室研究所不可能获得的数据和证明。自然类比研究可分为三类：(1) 铀、钍矿自然类比研究。铀、钍矿可以类比放射性废物处置库，研究核素迁移速率和分布规律；(2) 天然物考古自然类比研究。如西非加蓬共和国奥克洛（Oklo）天然反应堆，那里原是高浓铀带（^{235}U 达到 3.75%），在 20 亿年前发生链式裂变反应，持续约 70 万年，产生大量裂片元素和锕系元素。研究发现，这些元素的迁移仅几厘米到几米远。此外，科学家还研究天然玻璃体和陨石等，来考察固化材料的耐久性。(3) 人造物考古自然类比研究。如瑞典对古青铜大炮的研究，发现纯青铜10万年腐蚀深度不到 5 mm，因此认为可选用纯铜作为乏燃料直接处置的包装容器。

（撰写：罗上庚　审订：范显华）

ziran xunhuan

自然循环　natural circulation　在反应堆闭合回路内依靠冷段（向下流）和热段（向上流）中的流体密度差在重力作用下所产生的驱动压头来实现的流动循环（见图）。建立自然循环（即产生驱动压头）的必要条件是：(1) 系统在重力场内；(2) 系统有热阱（蒸汽发生器）和热源（堆芯）之间的高度差，且热阱高于热源；(3) 系统中的冷段流体密度必须大于热段流体密度。



反应堆自然循环示意图

（撰写：郝老迷　审订：陈玉宙）

zishire feiwu

自释热废物　heat generating waste　又称释热性废物。所含放射性核素释放的衰变热能使其本身和周围环境温度显著升高的废物。放射性核素在衰变时会释放出热量，当放射性活度浓度相当高，且其载体的导热性能不太好时，释出的热量会引起废物本身和周围环境温度显著升高。为了防止自释热引起的温度升高对废物体和核设施造成危害，必须在高放废物贮存、处置设施的设计中考虑释热的影响，采取冷却或导热措施，保证贮存和处置的安全。

（撰写：孙东辉　审订：王显德）

ziyouji

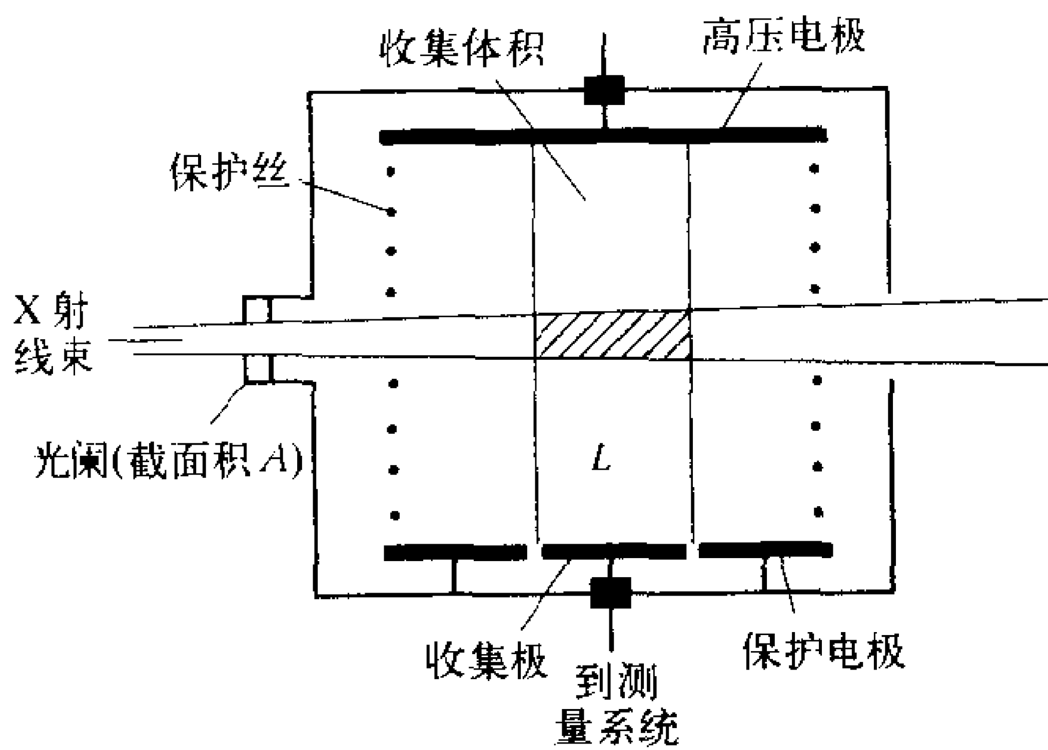
自由基　free radical　随着科技发展，自由基的定义也在演变，目前倾向于定义为“能够独立存在并带有一个未配对电子的原子、原子团或分子”。“独立存在”和“未配对电子”是两个基本要素。对于含有两个以上未配对电子的“自由基”，现分别给予“三重态”、“双自由基”和“顺磁性过渡金属离子”等名称。其特性是顺磁性、高反应性。多数自由基不稳定，半寿期为 $10^{-14} \sim 10^{-3}$ s。但也有些自由基是稳定的，如三苯甲基和许多自旋标记物。水分子吸收辐射能产生其“原初辐解产物”，即 $H_2O \rightsquigarrow H^{\cdot}, {}^{\cdot}OH, H_2O_2, H_2, e^-_{aq}, H_3O^+$；有机分子吸收辐射能可产生有机物自由基：$C_4H_{10} \longrightarrow (C_4H_{10})^+ + e$，$(C_4H_{10})^+ \longrightarrow CH_3 + C_3H_7^+$。通常，自由基以在其右上角加“·”表示，而含氧自由基，视氧元素符号“O”在自由基团的左侧或右侧决定“·”加在自由基团左上角或右上角。如

活性氧系列中的羟自由基($\cdot OH$)，烷氧自由基($RO\cdot$)，烷过氧自由基($ROO\cdot$)和超氧自由基阴离子($O_2^{\cdot-}$)。由于自由基具有顺磁性，若加外磁场，则其只能取与外磁场平行或反平行方向而不能随意取向，据此原理而设计的电子顺磁共振仪可测定自由基。内源性自由基在体内代谢过程中不断产生，介导生化反应，行使生理功能。但也不断被清除，以保持动态平衡，避免过量产生，对机体造成损伤。电离辐射作用所产生的自由基对生物大分子和细胞损伤的发生有重要意义。

（撰写：江家贵　审订：夏寿萱）

ziyou kongqi dianlishi

自由空气电离室 free air ionization chamber　自由空气电离室是为复现照射量而建立的标准仪器。按照照射量的定义，照射量 X 是 dQ 除以 dm 的商，dQ 是光子在质量为 dm 空气中释放的电子(包括电子和正电子)完全被空气阻止所产生的一种符号离子总电荷的绝对值。可见，这里惟一考虑的介质是空气，规定的 dm 空气被光子照射，产生的所有次级带电粒子穿过空气并在空气中消耗其能量，并测量其产生的一种符号离子；其次次级电子会有小部分能量以辐射形式损失即产生轫致辐射，其再吸收产生的电离应不包括在照射量中。所以，严格按定义复现照射量是不可能的，必须借助于电子平衡。自由空气电离室就是以此为基础复现照射量定义的电离室。自由空气电离室的设计如图所示。图中剖面线部分为受照射空气 dm，周围是空气以阻止次级电子，产生的电离电荷 dQ 由收集极 L 收集，输出到静电计测量。光阑到 dm 之间的空气提供电子建立，保证 dm 中产生次级电子溢出收集



自由空气电离室示意图

体积与外区域(指保护极区域)产生的电子进入收集体积产生的电离相当，即达到电子平衡。因而得到照射量 X

$$X=\frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}m}=\frac{It}{AL\rho}\Pi K_i$$

式中 I 为测得的电离电流；t 为测量时间；A 为光阑截面面积；L 为收集极长度；ρ 为空气密度；ΠK_i 是必要的各项修正，如光阑到 dm 的空气吸收、散射，dm 周围空气层不足够大，空气密度等项修正之积。

（撰写：李景云　审订：容超凡）

ziyou TBP nongdu

自由 TBP 浓度 free TBP concentration　在萃取后的磷酸三丁酯(TBP)有机液中，没有与金属硝酸盐和硝酸形成萃合物的 TBP 浓度。它是由萃取前原始 TBP 浓度减去被萃取的溶质与 TBP 形成萃合物的浓度的 n 倍而求得。n 是萃合物中 TBP 的配位数。自由 TBP 浓度常出现在研究 TBP 萃取平衡时萃合常数的计算中。

（撰写：胡景炘　审订：朱永睿）

ziyou zhendang

自由振荡 free oscillation　偏离加速器封闭轨道的粒子受轴向与径向聚焦力的作用而围绕封闭轨道的振荡。这种振荡是在研究电子感应加速器时发现的，故又称电子感应加速器振荡。自由振荡包含径向振荡与轴向振荡两种。两种振荡的稳定条件是加速器的场降落指数 n 在 0 与 1 之间。这种振荡与外力无关，仅取决于粒子的初始偏离，故称自由振荡。该现象普遍存在于许多谐振加速器中。

（撰写：王传英　审订：关遐令）

ziyuan tijiao hebaozhang xieding

《自愿提交核保障协定》 Voluntary Offer Agreement　按照不扩散核武器条约第 III 章的规定，参加不扩散核武器条约的核武器国家不承担与国际原子能机构签订核保障协定的义务。在关于不扩散核武器条约的谈判期间，一些非核武器国家担心它会不利于它们核工业的商业利益。为了减小这种担心，五个核武器国家自愿向机构提交部分或全部的民用核燃料循环设施进行核保障。机构已和英国(1978 年 8 月 14 日)、美国(1980 年 12 月 9 日)、苏联(1985 年 6 月 10 日)签订了这种自愿提交核保障协定。法国也签订了这种核保障协定，并于 1981 年 9 月 12 日实施。我国于 1988 年 9 月 20 日与机构签订自愿提交核保障协定，并于 1989 年 9 月 18 日生效。这些自愿提交的核保障协定一般遵循INFCIRC/153文件的格式，但其范围不是全面的。

（撰写：程徽徽　审订：李　泽）

ZIRLO hejin

ZIRLO 合金 ZIRLO-alloy　美国西屋公司开发的一种性能比 Zr–4 合金更好的 Zr–Nb 系合金。可用作压水堆高燃耗燃料组件中的包壳管和导向管材料。ZIRLO 合金的含铌量为 1%，合金中锡和铁元素的含量比 Zr–4 中低，而且不含铬元素。添加 1% 的铌有利于减少锆合金的吸氢量，提高其抗腐蚀性能和增加合金的强度。和 Zr–4 合金相比，ZIRLO 合金的腐蚀速率比 Zr–4 低很多；辐照生长约为 Zr–4 合金的 60%；合金的蠕变也比 Zr–4 小；在燃料元件铀燃耗达到 75000 MWd/t 时，包壳管的最大吸氢量约为 400×10^{-6}，小于设计限值。采用 ZIRLO 合金的好处是：组件的抗腐蚀性能和尺寸稳定性得到明显改善，组件平均卸料铀燃耗可以提高到 60000 MWd/t 以上(试验燃料元件的平均卸料铀燃耗已达 75000 MWd/t)。

（撰写：张忠岳　审订：黄玉才）

zonghe cejing

综合测井 comprehensive logging (log)　以获取钻井壁岩(矿)石的综合物理参数为特征的测井方法，体现综合研究钻井壁岩(矿)石的多项物理特征，从而减少钻孔取芯工作量，提高勘探速度，降低勘探成本。该方法通常采用多种探测器组合的综合测井仪，在测井过程中系统地对沿井壁各测点一次完成多项物理参数的测量。综合测井的主要任务是详细研究钻孔地质剖面，探测有用矿产和查明沿井壁出露矿体的位置、品位、规模，发现漏失或出露的新矿体，以及对控矿岩性、构造的追索。在综合测井仪中，被探测物理参数的选择可能是多样的组合。它通常由 γ 能谱 (γ 总量)、电阻率(自然电位、电磁)、井径、井斜测量等组成。

（撰写：蒋永一　审订：李家俊）

zonghe fenli tiqu liucheng

综合分离提取流程 process of comprehensive separation and recovery 在核燃料后处理过程中，在提取铀、钚的同时用多种方法提取诸如 ^{237}Np, ^{241}Am, $^{242+244}Cm$, ^{90}Sr, ^{137}Cs, ^{99}Tc, ^{147}Pm 等有用同位素的流程。铀和钚的提取采用磷酸三丁酯(TBP)。其余核素(镎除外)几乎全部集中在普雷克斯流程萃残液中。由于高放废液组成复杂，上述核素的性质差别很大，因此必须使用多种分离方法和多种试剂才能分离提取这些核素。一般是先用萃取法从经调料或不经调料的高放废液中分离出镧系元素和次锕系元素，随后进行锕系 / 镧系分离及锕系元素之间的分离，对萃余水相中的锶、铯、锝等再用萃取法或离子交换法分别提取。分离镧系元素和次锕系元素，目前研究的流程很多，如 TRPO 流程、TRUEX 流程、DIDPA 流程、DIAMEX 流程等，这些流程均处于开发阶段，尚未进入工业应用。（撰写：叶国安　审订：朱永赌）

zongti yingji

总体应急 general emergency 核事故应急响应中的最高应急等级，对应于造成实际的放射性释放或明显的放射性释放风险要求执行场外紧急防护行动的事件。对于核电厂，这些事件包括：堆芯或大量乏燃料实际的或预计的损坏；放射性向场外的释放产生的剂量超过紧急防护行动干预水平。当宣布总体应急时，应当建议核电厂附近的公众立即采取紧急防护行动。如果有可能发生超越国界的放射性物质释放，场外应急机构应当通知国际原子能机构。

（撰写：施仲齐　审订：陈竹舟）

zongshen fangyu

纵深防御 defence in depth 在所有核安全活动中，设置多层防御，使得个别失效可以得到补偿或纠正，不致使工作人员、公众和环境受到损害。纵深防御概念是核安全技术的基础，此概念必须贯彻于核安全有关的全部活动，包括：设计和运行、组织机构，以及人员的工作、行为等各个方面。纵深防御概念的具体应用方式取决于所应用的核活动的型式，所包容的放射性物质数量和性质，以及可能发生的事故的性质和概率。一般说来，纵深防御的多层防御措施设置于放射源和工作人员，公众和环境之间。其各层的任务首先是保证正常运行，防止偏离；其次是检测和纠正偏离，防止事故；第三是控制事故使处于稳定的可接受的状态；第四是停止运行和保护放射性物质包容功能；最后是缓解事故后果以保护人员、公众和环境。

（撰写：董柏年　审订：潘自强）

zongshen fangyu de shiti pingzhang

纵深防御的实体屏障 physical barriers of defense in depth 核电厂为防止放射性物质逸出而普遍采用的多道实体屏障。它们是燃料芯体、燃料元件包壳、反应堆冷却剂压力边界和安全壳。正常运行时大部分放射性裂变产物保持在燃料芯体内，部分气态裂变产物保持在芯体与包壳之间的气隙内，燃料元件包壳将全部裂变产物封闭在其内部。在燃料元件包壳破损的情况下，部分裂变产物释放到反应堆冷却剂系统，可通过反应堆冷却剂净化和除气系统加以去除。在燃料元件包壳破坏同时反应堆冷却剂压力边界失效的情况下，裂变产物将释放到安全壳内，安全壳及安全壳系统(安全壳喷淋系统、安全壳隔离系统等)将裂变产物封闭在安全壳厂房内，以进行处理并控制对环境的释放。实体屏障是纵深防御的基础，大部分安全系统都是为了保持实体屏障的完整性而设置的。只有在实体屏障全部完好且能发挥其设计功能时，才允许反应堆带功率运行。（撰写：俞尔俊　审订：陈叔平）

zongshen fangyu yuanze

纵深防御原则 defense in depth principles 核电厂(核设施)设计、运行总的指导思想。贯彻纵深防御概念，核电厂设计提供的多层次保护。核电厂必须根据纵深防御的原则，设置重叠的多层次的防护，使得电厂安全功能在即使有一种防御失效，其功能也将得到补偿或纠正，例如：(1) 设置多种手段以保证每个基本安全功能(反应性控制、余热排出和放射性包容)的执行；(2) 除固有安全特性外，采用可靠的保护装置；(3) 通过安全系统的自动触发和运行人员的行动，加强对核电厂的控制；(4) 提供设施和规程以支持事故预防措施，控制事故发展过程和限制事故后果。纵深防御概念在设计中的第一种应用为：设置多层次的设施和规程，以防止事故或在未能防止事故时保证适当的保护，核电厂一般有五个层次的安全防护。第一层次，稳妥保守的设计，高质量的建造和运行保证正常运行，防止偏离、防止系统失效；第二层次，监测和纠正对正常运行情况的偏离，以防止预计运行事件升级为事故工况，同时设置专用系统，制定运行规程以防止或尽量减少假设始发事件所造成的损坏；第三层次，提供固有安全特性、失效安全设计、附加的设备和规程以控制这些事件的后果，并使核电厂达到稳定的可接受的状态；第四层次，运用防止事故进一步发展的补充措施和规程以及选定的严重事故的缓解措施来保护核电厂反应堆的放射性包容功能，并保证放射性释放尽实际可能的低；第五层次，采取厂外应急对策来保护和缓解事故后果对周围居民和环境的影响。作为一个基本要求，任何时候各防御层次必须按照不同运行方式的规定一一齐备，在缺少一个防御层次，而其他防御层次虽在的条件下，继续运行就没有足够的基础。纵深防御概念的第二种应用是核电厂设置多道实体屏障，防止放射性物质外逸，这些屏障通常包括燃料本身，燃料包壳，反应堆冷却剂系统压力边界和安全壳，设计必须保证每一屏障的有效性，并为之提供保护。

（撰写：董柏年　审订：潘自强）

zuni xiangzhendang

阻尼相振荡 damped phase oscillation 在准谐振加速器中，非同步粒子的相振荡振幅随时间逐渐减小的振荡。广义地说，粒子的相运动可用阻尼振荡方程形式表示时，粒子都作阻尼相振荡。根据自动稳相原理，在同步粒子附近一定范围的非同步粒子，在高频电场的加速过程中，会围绕同步粒子作稳定的相振荡。若非同步粒子与同步粒子的相位差为 $\Delta\varphi=\varphi-\varphi_s$，还可以证明 $\Delta\varphi$ 在的振荡过程中将逐渐减小。其结果是，俘获的非同步粒子的相位将逐渐靠近同步粒子。这是自动稳相原理的一个重要结果。这种绝热阻尼在各种准谐振加速器中都存在。此外，在电子(正电子)同步加速器中还存在有辐射阻尼。（撰写：傅世年　审订：张闯）

zuran cailiao

阻燃材料 noncombustible material 核设施和构筑物中实际使用的形态及预计的条件下遭受火焰或加热时不会起火，燃烧，助燃或释放可燃气体的材料。

（撰写：王秀清　审订：俞尔俊）

zuse xiaoying

阻塞效应 blocking effect 带电粒子在单晶体内沿偏离晶轴方向的掠射轨迹出射的一种物理现象。因此阻塞效应与沟道效应的表现正好相反。如果发射粒子的原子核处于晶体结构间隙位置，则观察不到阻塞效应。此外，如果该原子核有一定的半衰期，并由于核反应具有一定的反冲速度，在发射粒子时已离开点阵位置，其阻塞的情况则发生变化。因此，阻塞效应被用于研究原子的占位情况。在核物理中，阻塞效应是测定极短的原子核态寿命（$10^{-18}\sim10^{-16}$ s）的一种重要方法。例如，用 10 MeV 质子轰击含 ^{238}U 的 UO_2 单晶，利用阻塞效应测定 ^{239}Np 复合核裂变的寿命为 2.5×10^{-16} s。

（撰写：张士琛 审订：吕延晓）

zuzhi benling

阻止本领 stopping power 带电粒子束穿过物质单位厚度的平均能量损失。带电粒子穿越物质时，与物质原子的电子云碰撞，它引起物质中的原子激发与电离，并导致带电粒子本身的动能损失。这部分损失称为电子阻止本领，又称为电离损失。它是不太高能量的带电粒子动能损失的主要部分。带电粒子穿越过程中，还会与物质中的原子核发生弹性碰撞，在核的库仑场作用下，产生轫致辐射而损失动能（参见*轫致辐射*）。这部分损失称之为核阻止本领或辐射损失，在低能时起主要作用。对强相对论带电粒子，轫致辐射是其能量损失的主要机制（参见*带电粒子与物质的相互作用*）。

（撰写：施义晋 审订：丁大钊）

zuzhi xishu

阻滞系数 retardation coefficient 又称延迟系数。就核素在孔隙介质中迁移而言，阻滞系数（R_d）定义为地下水孔隙流速（u）与核素迁移速度（v）之比，即 $R_d=u/v$。阻滞系数反映了介质对核素迁移的阻滞能力，对核素在地下水中迁移计算的结果有重要影响。它与介质组成、核素种类和化学形态、以及复杂的吸附、离子交换、表面配合、矿化沉淀等作用有关。因此，应针对具体核素和场址条件通过现场示踪实验或实验室模拟实验确定阻滞系数。某种核素在含水层中的阻滞系数与其分配系数（K_d，定义为核素在固相和液相上的浓度比）存在如下关系

$$R_d=1+\frac{\rho K_d}{n_e}$$

式中 ρ 为固相介质干容重；n_e 为有效孔隙度。因此，也可以通过实验室静态批试法测量分配系数后计算求得阻滞系数。但是应注意批试法的测量条件和实际条件往往有明显差别，如较高的液固比、不是非扰动土样等，从而导致计算求得的 R_d 值可能高于现场实际值。

（撰写：郭择德 审订：陈 式）

zuzhi dengxiao dianlishi

组织等效电离室 tissue-equivalent ionization chamber 用组织等效材料作为结构材料，内充组织等效气体的电离室。常用于中子剂量测量。所谓组织等效是指对辐射的散射和吸收及可能的核反应与人体软组织相当。根据 ICRU 第 26 号报告规定，肌肉组织主要成分的质量比为：氢 10.2 %，氧 72.9 %，氮 3.5 %，碳 12.3 %。在人工合成的组织等效塑料中，为了提高其导电性能，碳的含量有较大的增加。目前市场上 A-150塑料是最有代表性的一种组织等效塑料。其设计成分为：氢 10.1 %，氧 5.2 %、氮 3.5 %，碳 77.6 %，钙 1.8 %、氟 1.7%。电离室多采用流气式，工作气体成分也与组织成分相当，主要用甲烷、二氧化碳和适当氮气按比例配置而成。用于中子剂量测量的组织等效电离室，多做成指形或球形、灵敏体积 1 cm^3 左右。它是对中子和 γ 射线均灵敏的探测器，为了扣除中子场中 γ 射线剂量的贡献，还用一个对 γ 射线灵敏，对中子不灵敏或灵敏度很低的探测器，一般采用 G-M 计数器、石墨电离室或镁电离室。这种测量中子剂量的方法称为双剂量计法。

（撰写：容超凡 审订：李景云）

zuzhi quanzhong yinshu

组织权重因数 tissue weighting factor (W_T) 为辐射防护的目的，器官或组织的当量剂量所乘的因数，用以考虑不同器官或组织对发生辐射随机性效应的不同敏感性。表中列出了各组织或器官的组织权重因数。

组织权重因数①

组织或器官	性腺	红骨髓	结肠	肺	胃	膀胱	乳腺	肝	食道	甲状腺	皮肤	骨表面	其余组织或器官
组织权重因数(W_T)	0.2	0.12	0.12	0.12	0.12	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.01	0.01	0.05 ②③

①数值系按男女人数相等年龄范围很宽的参考人群导出。

②为计算用，其余器官与组织包括如下：肾上腺、脑、上段大肠、小肠、肾、肌肉、胰、脾、胸腺及子宫。

③在其余器官或组织中有一单个器官或组织受到超过12个规定了权重因数的器官的最高当量剂量的例外情况下，该器官或组织取权重因数为0.025，剩下的上列其余器官与组织的平均当量剂量亦取权重因数0.025。

（撰写：董柳灿 审订：潘自强）

zuankong buzhi

钻孔布置 well arrangement 地浸采铀中钻孔形式与钻孔距离的布置。其中钻孔形式（井型）是指地浸采铀抽注液钻孔在平面上的布置形式、分布状况及相对位置；钻孔距离（井距）则是相邻两个钻孔间的距离，它包含抽液孔与注液孔间的距离，注液孔与注液孔（或抽液孔与抽液孔）间的距离。井型与井距的确定，影响地浸采铀钻孔工程量大小、溶浸液的有效循环时间，影响地浸产品成本高低与铀资源回收率的大小。井型与井距布置应遵循以下三条原则：(1) 保持抽注平衡，根据钻孔抽注液量的大小来确定抽注液钻孔的数量和排列方式，做到抽出的溶液量与注入的溶液量基本相等；(2) 保证溶浸液的合理分配，要求矿体浸出均匀，并尽可能消除溶浸死角，以获得较高的浸出率；(3) 保证较小的钻孔工程量和较低的吨金属成本。常用的井型有 5 点型、7 点型和行列式井型，井距一般为 8～50 m。

（撰写：苏学斌 审订：李开文）

zuida dimian jiasudu

最大地面加速度 maximum ground acceleration 由厂址地质和地震条件所确定的设计基准地震加速度，即极限安全地震的最大地面加速度。这个最大地面加速度也就是设计响应谱右端"刚性"段（频率 ≥ 33 Hz 的高频段）的零周期加速度（参见*设计响应谱*和*零周期加速度*）。

（撰写：黄经绍 审订：张忠岳）

zuida kexin shigu

最大可信事故 maximum credible accident (MCA) 在反应堆寿期内可能发生的最严重的事故，如轻水反应堆冷管段双端断裂失水事故（参见*大破口失水事故*）。在20世纪60年代，

认为这是轻水动力堆最严重的事故。在设计构筑物、系统和部件时，往往以这种事故为出发点，认为如果以极保守的分析方法作出的设计能抗御这种事故，就能抗御其他一切事故。因而把这种事故当作惟一的“设计基准事故”。事实上，这种观点是片面的，核电厂有许多设计基准事故，不同类型的事故要求采取不同的防御措施，才能保证安全。理论研究和实践均已证明，由多重故障及多种失误造成的严重事故才是核电厂风险的主要来源。（撰写：俞尔俊　审订：陈叔平）

zuiyouhua dagang

最优化大纲　ALARA program　辐射源的营运者为实现辐射防护最优化（参见辐射防护最优化）而制定的纲领性文件。最优化大纲包括营运单位的最优化政策和目标、各级管理层和执行层的职责、最优化组织体系、最优化实施与控制、辐射防护数据库、经验反馈以及持续改进等内容。在最优化大纲中还应制定具体的管理和技术措施，如最优化分析与决策、各项考核指标的制定与控制、工作现场的跟踪与支持、数据的采集与分析、经验反馈以及改进计划的执行等。在可行的条件下，应采用特定的分析技术使最优化决策更加合理和有效。最优化的实施应采用全面管理的方法，即对辐射防护涉及的各个方面从策划、准备、实施到经验反馈的全部过程进行管理，并通过有效的组织形式实行管理层与执行层的全体参与，以及对全部有关人员进行最优化的全员培训。根据近几年的实践经验，最优化大纲更加重视可操作性，重视将良好的实践经验在整个工作策划与准备、风险分析、进度安排和组织实施中应用，并在良好的实践中挖掘便于操作的定量指标。（撰写：陈德淦　杨　玲　审订：施仲齐）

zuizhong bianbangjiao

最终边帮角　final pit slope　铀矿露天采场最下一阶段的坡底线和最上一阶段坡顶线的假想斜面与水平面的夹角。露天最终边帮由阶段坡面和安全平台、清扫平台、运输平台组成。山坡露天采场的不同地段边帮，其最终边帮角是不同的。一般情况下一个露天采场内安全平台、清扫平台和运输平台的宽度以及阶段高度是不变的；而阶段坡面角是变化的。随着采场开采深度的加深而减缓，并且根据不同地段边坡的岩石物理力学性质、地质构造和水文地质条件等因素的综合影响，其坡面角亦有不同。阶段坡面角是决定露天最终边帮角的主要因素。（撰写：陈景良　审订：李开文）

zuizhong rejing

最终热阱　ultimate heat sink　接受核设施排出余热的大气、水体或两者的组合。最终热阱连同与其直接有关的输热系统合称为最终热阱系统。在防止燃料元件过热、一回路压力边界失去完整性以及安全壳失去完整性方面，最终热阱系统所执行的功能都起到重要作用。最终热阱系统属于安全系统，它的设计必须具备适当的多重性、多样性以及诸如泄漏检测、适当的相互连接和隔离能力等。为了满足安全要求，最终热阱系统必须高度可靠，在发生各种假设始发事件时必须仍能运行，且长期可用，在实际可行条件下尽量简单，以增加可靠性。为了设计最终热阱系统，必须准确算出各种热源（堆芯衰变热、乏燃料衰变热、残存显热、安全重要物项的排热以及其他与事故有关的热源）的强度和它们随时间变化的特性；还必须为特定的厂址规定假设始发事件，并对各种内部事件和外部事件、这些事件的组合以及它们所引起效应的可能和后果给予必要的考虑。

（撰写：俞尔俊　审订：陈叔平）

zunzhang baozheng

遵章保证　compliance assurance　放射性物质运输主管当局施行的，旨在保证放射性物质运输安全规程的各个条款能在实践中得到遵守的有系统的措施计划。主管当局负有责任确保遵守该规程。履行这种责任的方法包括由发货者和承运者制定和执行监督大纲，用以监督包装、特殊形式放射性物质和低弥散性放射性物质的设计、制造、试验、检验和维护，以及货包的加工、文件、装卸和贮存，以提供在实践中符合该规程规定的证据。

（撰写：董柳灿　审订：赵亚民）



国内部分

1 1922～1923年，吴有训在康普顿指导下工作时，发现了光子在原子外层电子上发生散射的现象，对证实康普顿效应做出了重要贡献，因此也有人称康普顿效应为康普顿—吴有训效应。

2 1929～1930年，赵忠尧在密立根指导下测量γ射线吸收能谱时，发现在能量大于1 MeV时出现反常现象，即所谓的γ射线的反常吸收。这实际上是正负电子对产生和湮没过程最早的实验证明。这一发现得到密立根等国际物理大师的高度评价。

3 1941年，彭桓武用量子场论对介子及宇宙线的一些物理现象作出了很好的理论解释，特别是1943年他同海特勒和汉密特合作，发展了量子跃迁概率的理论，用能谱强度首次解释了宇宙线的能量分布和空间分布，名扬世界物理学界。

4 1942年1月，王淦昌在美国《物理评论》杂志上发表《关于探测中微子的建议》，极有创造性地提出了用K电子俘获验证中微子存在的实验方法。从1942年开始到1952年，实验物理学家按照王淦昌的建议进行了一系列的工作，最终成功地证实了中微子的存在。

5 1946～1947年，钱三强、何泽慧和两位法国研究人员一起发现了铀核的三分裂和四分裂现象，同时对三分裂机制给以合理解释并得到国际物理学界的公认，使人们对铀核分裂的认识更进了一步。

6 1950年5月，中国科学院成立近代物理研究所。1949年10月新中国成立后，中国科学院于1949年11月和1950年4月，先后接管了原北平研究院原子学研究所和原中央研究院物理研究所的原子核物理部分，在此基础上于1950年5月19日正式成立中国科学院近代物理研究所，所长吴有训，副所长钱三强。次年，吴有训调任中国科学院副院长后，钱三强任所长，王淦昌、彭桓武任副所长。10月17日第一次所务会议决定将理论物理、原子核物理、宇宙线、放射化学作为初期研究方向，重点是原子核物理。

7 1954年秋，地质部在广西发现铀矿资源苗头。地质部副部长刘杰向毛泽东、周恩来汇报时，毛泽东指出："要找，一定会发现大量铀矿。"于是，中国开始建立铀矿地质队伍，开展铀矿普查工作，学习掌握铀矿勘查技术，于1958年前后找到并探明了一批铀矿床，提供了一批可供矿山开采利用的铀工业储量。中国铀矿地质人员从研究分析中国地质特征出发，经过多年努力，发现了与国外十分不同的中国铀矿类型组合，其中花岗岩型、火山岩型、砂岩型、碳硅泥岩型这四大类型都具有中国自己的特征。进而形成具有中国特色的一套铀矿成矿理论，并引申一系列基础地质理论领域，受到国内外地质界的重视和好评。

8 1955年1月15日，中共中央作出建立中国原子能事业的决策。毛泽东指出："我们国家大，现在已经知道有铀矿，进一步勘探一定会找出更多的铀矿来。解放以来，我们也训练了一些人，科学研究也有了一定的基础，创造了一定的条件。过去几年其他事情很多，还来不及抓这件事。现在到时候了，该抓了。只要排上日程，认真抓一下，一定可以搞起来。"1月31日，周恩来主持国务院第四次全体会议，通过《关于苏联建议帮助中国研究和平利用原子能问题的决议》。随后，中央指定陈云、聂荣臻、薄一波组成三人小组，负责指导原子能事业发展工作。具体业务由国务院第三办公室管理，调刘杰任三办副主任，协助薄一波主任，具体组织创办原子能事业的各项工作。



毛泽东、周恩来、邓小平等接见铀矿地质会议代表

9 1955 年夏，在薄一波主持下，刘杰和钱三强等研究制定《关于我国制定原子能事业计划的一些意见》；并在此基础上，我国于同年 12 月组织拟订了《关于 1956～1967 年原子能事业的发展计划大纲（草案）》，为中国原子能事业的发展画出了基本蓝图。1956 年 4 月，在国务院科学规划委员会领导下，中国科学院物理研究所组成以王淦昌为组长的“和平利用原子能规划组”，编制了和平利用原子能科学远景规划草案，经当时在莫斯科访问的钱三强等科学家修订后上报。“原子能的和平利用”被列为全国科学技术发展的 12 年（1956～1967）远景规划中 12 项重点任务的第一项。

10 1955～1958年，中苏两国政府先后共签订了有关苏联援助中国发展原子能事业的 6 个协定。这些协定的签订和实施为中国发展原子能事业争取了外部条件。第二机械工业部贯彻中央关于“自力更生为主，争取外援为辅”的方针，始终把立足点放在自力更生的基础上，在按照上述协定，接受苏联技术援助和设备供应，组织科技人员向苏联专家学习的同时，努力通过自己的科学研究和建设实践，培养人才，掌握技术，使中国原子能事业从一开始就走上正确的具有中国特色的发展道路。

11 1955 年，根据高等教育部决定，北京大学成立物理研究室（1958 年后改名为技术物理系），清华大学成立工程物理系，从全国重点院校选拔专业相近在校高年级学生，转入北大、清华改学原子能专业。与此同时，还从我国留苏研究生和高年级大学生中选拔一批改学原子能专业。

12 1956 年 5 月，中国第一个综合性核科研基地在北京开始兴建。经两年多时间各方共同的努力，苏联提供的一座 7 MW 实验性重水反应堆和一台直径 1.2 m 回旋加速器，于 1958 年夏先后建成。1958 年 7 月 1 日《人民日报》发表消息，盛赞“这标志着我国已经跨进了原子能时代”。该基地对外名称为中国科学院原子能研究所（1984 年 11 月改名为中国原子能科学研究院）。中国原子能科学研究院成立 50 年来（从其前身中国科学院近代物理研究所成立时间算起），不仅出色地完成了大量科研任务，发展了我国核科学技术，同时对我国核工业建设和核武器研制也起了重要的支撑作用。由它派生和援建的科研生产单位有十多个，中国原子能科学研究院为建立我国比较完整的核科研体系作出了重要贡献。累计输送各类骨干人才 6 000 多名，保证了各生产单位和管理机构的人才需求。有 60 多位两院院士曾在中国原子能科学研究院工作，有很多的专家从这里走向核工业科研、生产单位的领导岗位。因此人们常形象地称中国原子能科学研究院是中国核工业的“老母鸡”。



周恩来、贺龙、陈毅陪同外宾参观中国科学院原子能研究所（左一为钱三强）

13 1956 年 11 月 16 日，第一届全国人民代表大会常委会第五十一次会议通过决定设立第三机械工业部，宋任穷任部长。1958 年 1 月 8 日，第三机械工业部成立第九局（局长李觉），负责组织核武器研制和核武器研制基地建设工作。1958 年 2 月 11 日，第一届全国人民代表大会第五次会议决定，改名为第二机械工业部；1982 年 5 月 4 日，第五届全国人民代表大会常委会第二十三次会议决定，改名为核工业部。

14 1958年5月，中央批准核工业四厂三矿选点方案。其中包括衡阳铀水冶厂、包头核燃料元件厂、兰州铀浓缩厂、酒泉原子能联合企业和郴县铀矿、衡山大浦铀矿、上饶铀矿。核燃料工业建设从此全面展开，到 1964 年前后陆续建成投产，为中国核武器研制和发展奠定了工业基础。



铀同位素分离扩散机群

15 1958 年 10 月，中国首批 33 种堆照同位素在原子能研究所试制成功。随后，农业、冶金、机械等部门几个专业性同位素应用实验室陆续建成。中国科学院原子核委员会设立同位素应用委员会，负责同位素应用技术的规划与组织。各地举办同位素医学、农学、仪表等培训班，培训了一大批同位素应用技术骨干。所有这些都为我国同位素与辐射技术的研究与应用奠定了基础。

16 1959年3月9日，王淦昌研究组在杜布纳联合原子核研究所，从4万张气泡室照片中发现了第一个反西格马负超子的事例。这一发现证实了反粒子的普遍存在，在微观世界的图像上消灭了一个空白点，受到各国物理学家的赞扬和重视。

17 1959年7月，周恩来向第二机械工业部部长宋任穷传达中共中央的决策："自己动手，从头摸起，准备用八年时间搞出原子弹。"二机部遵照中央指示精神，于12月23日制定出原子能事业八年规划纲要，提出"三年突破，五年掌握，八年适当储备"的奋斗目标；1960年8月9日，向所属单位发出《为在我国原子能事业中彻底实行自力更生的方针而奋斗》的电报指示，在全部范围迅速有效地实现了由有苏联援助到完全彻底自力更生的转变。

18 1961年7月，中共中央作出关于加强原子能工业建设若干问题的决定。决定包括：(1) 加强核工业的技术力量和领导力量。从全国抽调一批高级科学研究人员、工业技术骨干和行政领导干部，参加核工业建设。(2) 加强核工业所需设备、仪表的生产、试制和配套工作。(3) 解决核工业卫生和防护医疗问题。(4) 将核工业物资运输一律列为军运，以加强保密和运输畅通及时。中央这些决定有效地推动了各有关方面对核工业建设的支援。

19 1962年11月3日，毛泽东在罗瑞卿关于"力争在1964年爆炸第一颗原子弹"和"建议在中央直接领导下成立一个专门委员会"的报告上批示："很好，照办。要大力协同做好这件工作。"1962年11月17日，中央专委正式成立，主任周恩来，成员有贺龙、李富春、李先念、聂荣臻、薄一波、陆定一、罗瑞卿等七位副总理和赵尔陆、张爱萍、王鹤寿、刘杰、孙志远、段君毅、高扬等七位部长。12月14日，中共中央《关于成立15人专门委员会的决定》中明确规定："委员会是一个行政权力机构，主要任务是：组织有关方面大力协调，密切配合；督促检查原子能工业发展规划的制订和执行情况；根据需要在人力、物力、财力等方面及时进行调动。委员会的决定由有关方面坚决保证，贯彻执行。"从此，中国原子能工业建设和核武器研制工作，便在中央专委直接领导下进行。

20 1962年12月4日，中央专委第三次会议审查批准了第二机械工业部提出的《1963、1964年原子武器、工业建设、生产计划大纲》(简称两年规划)。在两年规划指导下，原子能工业建设和原子弹研制各个环节，开始从量变到质变，出现突破性进展。1963年12月24日，青海核武器研制基地进行缩小尺寸的核装置聚合爆轰出中子试验并获得成功。1964年1月14日，兰州铀浓缩厂开始生产出合乎武器要求的高浓铀。



生产堆中央控制室

21 1964～1968年，全面建成完整配套的核武器装料生产体系。继兰州铀浓缩厂生产出高浓铀后，酒泉原子能联合企业经过日夜苦战终于攻克了铀冶金技术难关，并于1964年4月30日完成第一套核武器装料铀部件精加工，标志着^{235}U生产线已全线建成，并掌握了全套生产技术。接着，1965年10月包头核燃料元件厂、1966年12月军用钚生产堆、1968年9月辐照过的燃料后处理中间试验厂先后建成投产，并最终生产出合格的军用钚装料，标志着^{239}Pu生产线全线建成并掌握了全套生产技术。在此前后，1964年9月和1968年5月先后建成^{6}LiD和氚生产线，解决了热核材料生产问题。至此，中国开始拥有制造原子弹、氢弹所必需的完整配套的核装料生产体系。

22 1964年10月16日，中国第一颗原子弹爆炸试验成功。这标志着中国打破了超级大国的核垄断，掌握了核材料生产和核武器设计制造技术。新华社在发表新闻公报的同时，发表了《中华人民共和国政府声明》。声明指出："中国进行核试验，发展核武器，是被迫而为的"，"中国发展核武器，是为了防御，为了保卫中国免受美国发动核战争的威胁"，"中国政府郑重宣布，中国在任何时候、任何情况下，都不会首先使用核武器"。声明还指出："中国政府向世界各国政府郑重建议：召开世界各国首脑会议，讨论全面禁止和彻底销毁核武器问题。作为第一步，各国首脑会议应当达成协议，即拥有核武器的国家和很快可能拥有核武器的国家承担义务，保证不使用核武器，不对无核武器国家使用核武器，不对无核武器区使用核武器，彼此也不使用核武器。"



我国第一颗原子弹爆炸蘑菇云

23 1965年5月14日，核航空炸弹试验成功；1966年10月27日，核弹头与导弹“两弹结合”试验成功，标志着中国开始有了可用于实战的核武器。从第一次核装置爆炸到制成小型化核弹头，美国用了13年（1945～1958），苏联用了6年（1949～1955），而中国只用了两年时间，这表明中国核武器发展速度是很快的。

24 1966年12月28日，氢弹原理试验成功；1967年6月17日，氢弹空爆试验成功。聂荣臻副总理受周恩来总理委托，亲自到现场主持了这两次试验。试验取得圆满成功，表明中国已经完全掌握了氢弹原理和设计、制造、试验技术，实现了毛泽东主席早在1958年6月关于“搞一点原子弹、氢弹，我看有十年工夫完全可能”的伟大预言。



我国第一颗氢弹爆炸蘑菇云

25 1969年9月23日成功地进行了首次平洞地下核试验，中国核试验开始由空爆逐步转入地下。1986年3月21日，中国政府正式向全世界宣布今后不再进行大气层核试验。

26 1970年7月，中国第一座潜艇核动力装置陆上模式堆建成并投入运行试验。试验分两阶段进行。第一阶段试验结果显示：反应堆的设计、制造、安装调试质量良好，安全可控、自稳、调节保护等性能优良，证明反应堆的设计建造是成功的。第二阶段试验结果进一步证明：这个堆不仅完全可以达到设计的满功率运行，而且还有相当大的潜力，可以超功率运行；不仅在稳定工况时安全可控，而且能按实战要求承受大负荷变化，机动性能好。这标志着中国已经掌握了核动力技术，是继原子弹、氢弹试验成功之后，中国核科技工业发展的又一突出的重大成就。



我国的导弹核潜艇

27 1981年3月25日，国务院批准国防科委《关于调整原子能工业发展方针的请示》，同意原子能工业逐步转到为国民经济建设服务的方针。从此中国核科技工业发展进入第二次创业阶段，在优先保证军用的前提下，把重点转向核电建设和核技术和平利用。

28 1981年5月4日，中国自行设计建造的第一座功率为125 MW的高通量工程试验反应堆实现高功率运行，12月17日工程通过国家验收。由于该堆功率、热中子通量和快中子通量都比当时国内其他堆高出一个数量级以上，从而大大增强了中子辐照研究能力，基本满足了动力堆燃料元件的综合考验要求，提高了材料辐照的品质和堆照同位素产品的比度。

29 1982年2月，国家计委、国防科委、第二机械工业部和中国科学技术协会在北京联合召开了全国同位素工作会议。在此前后，中国原子能科学研究院建成近万平方米的放射源和标记化合物生产实验室，大大增加了同位素产品的研制能力；酒泉原子能联合企业建成裂变同位素提取车间，使我国具备了工业规模的裂变同位素生产能力；中国原子能科学研究院和上海市各自建成同位素生产专用加速器，使我国具备加速器批量生产同位素的能力。与此同时，同位素与辐射技术的应用也获得很大发展。其应用遍及农业、医学和石油、煤炭、地质、冶金、水利、建材、机械、化工、造纸等各行业，以及物理、化学、生物、考古、环境等各领域。

30 1984年1月1日，中国加入国际原子能机构，并在当年6月被该机构理事会一致通过为指定理事国。十多年来，中国积极参加国际原子能机构的各类活动，在核电建设和运行、核电规划和经济分析、核燃料循环、核设施安全、辐射防护和废物管理、同位素与辐射技术的工农业和人体健康应用、基础研究和科技情报、核保障监督等方面，开展了有效的交流与合作，学到了别国的先进技术和经验，同时也为其他发展中国家培养了人才，提供了设备和专家。

31 1984年9月21日，西南物理研究院建成并顺利启动中型托卡马克受控热核聚变实验装置——中国环流器一号，次年通过国家验收并交付使用。1985～1992年，利用这一装置开展受控核聚变实验研究，取得了400多项科研成果，培养了一支高水平的科技队伍，从而具备了进一步参与国际竞争与合作的条件。1993年起，对该装置进行了大规模的改建，1994年9月30日改建工程胜利竣工。改进后的装置名称为中国环流器新一号，其性能大大改善。与此同时，西南物理研究院还积极筹建下一代托卡马克装置。1999年1月16日，列为国家重点科学工程——中国环流器二号A装置工程在成都开工。这将是一台向点火级装置过渡的中间装置，建成后将进一步推进中国核聚变研究事业

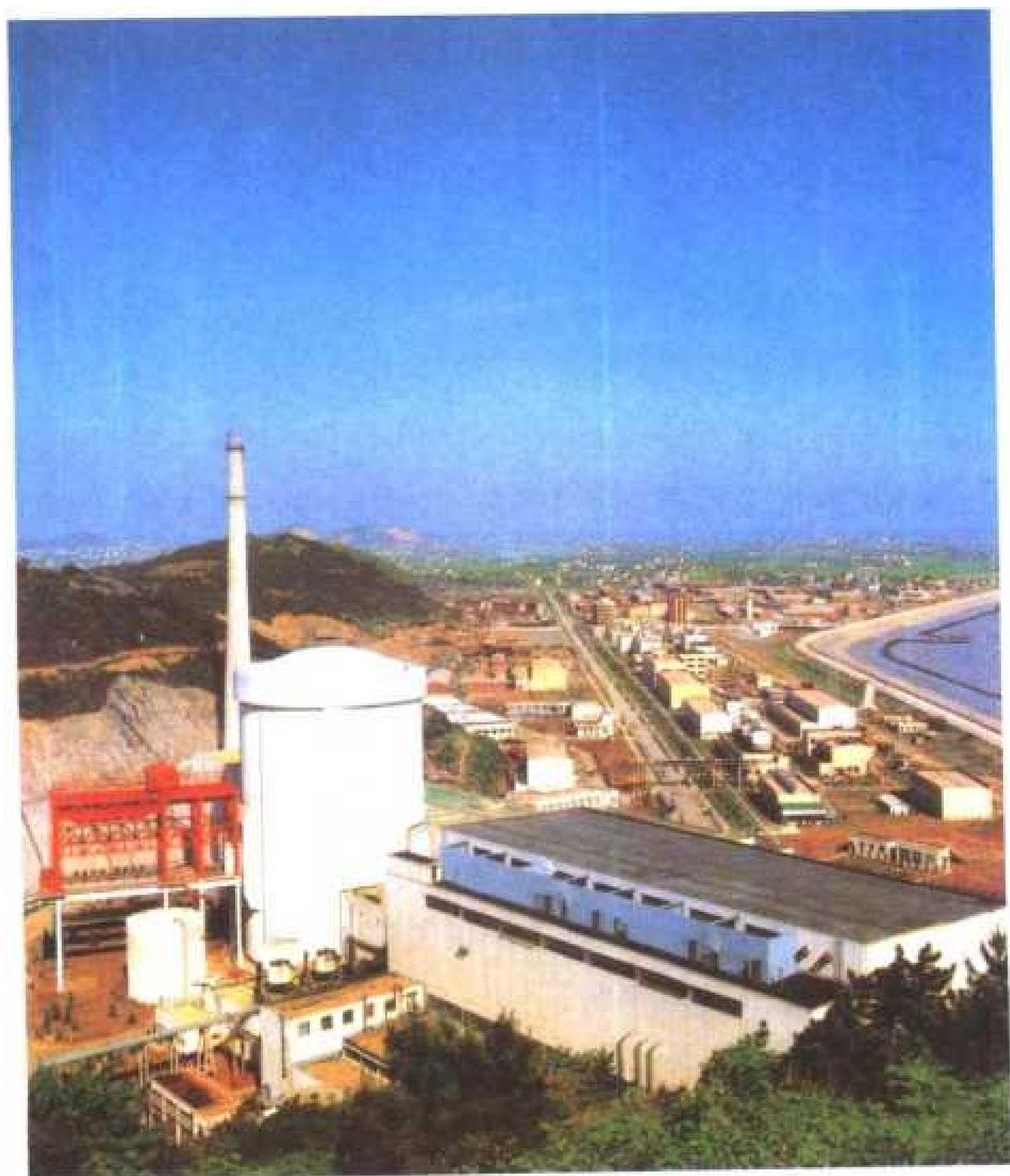


受控热核聚变实验装置——中国环流器一号

的发展。这一时期，中国科学院等离子体物理研究所也于1984年建成和启动了中型托卡马克装置，1992年组装成我国第一台超导稳态托卡马克装置，在受控热核聚变研究方面做了大量有效的工作。

32 1984年10月，国家核安全局成立（局长姜圣阶），依法统一监督管理全国和平利用核能和核技术中的安全事务，独立行使安全监督职能。

33 1985年3月，秦山核电厂反应堆主体工程开工。周恩来早在1970年2月8日提出要靠发展核电解决上海用电问题，并于1974年3月亲自审定了300 MW压水堆型核电厂建设方案。1982年11月，国家经济委员会批准300 MW核电厂厂址定在浙江省海盐县秦山。秦山核电厂从1985年3月20日浇注第一罐混凝土，到1991年12月15日首次并网发电成功，结束了中国大陆无核电的历史，标志着中国开始掌握核电技术，成为世界上第7个能够自行设计建造核电厂的国家。1991年12月31日，中国核工业总公司和巴基斯坦原子能委员会在北京签署了中国向巴基斯坦出口一座以秦山核电厂为参考电厂的300 MW核电厂合同，中国成为世界上第8个有能力出口核电厂的国家。合同于1992年2月25日开始生效。1993年8月1日浇注核岛第一罐混凝土；2000年6月13日核电厂实现首次并网发电；2001年3月29日举行落成典礼，中巴两国政府部门和有关单位的代表出席典礼，一致称颂这是中巴传统友谊和良好合作的范例。



秦山核电厂（一期）全景

34 1986年3月3日，王大珩、王淦昌、陈芳允、杨嘉墀四位科学家上书中共中央，提出了《关于跟踪世界战略性高技术发展的建议》，邓小平阅后特别重视，3月5日批示："此事宜速作决断，不可推迟。"随即国务院组织200多位专家学者进行专题研究，并制定了《高技术研究发展计划纲要》（即863计划），于1986年11月18日经中共中央和国务院批准下发。863计划对高技术发展起了很大推动作用。列入863计划能源项目的有快中子实验反应堆、高温气冷反应堆和裂变—聚变混合反应堆等。这些重大核科研设施的建设，将有力地推动中国核科学技术的发展和提高。

35 1986年6月，全国人大常委会审议中国核电发展方针。苏联发生切尔诺贝利核电厂事故后，1986年6月20日，遵照国务院领导的指示，核工业部部长蒋心雄向第六届全国人大常委会第十六次会议就"我国核电建设情况和发展方针"作了汇报，委员们在审议讨论中，赞同积极地适当地发展核电的方针，认为建设核电厂是解决我国东南沿海地区能源紧张的重要措施，要坚定不移地抓紧建设；要吸取苏联核电事故的教训，在核电建设中坚持安全第一、质量第一，搞好管理；还要向群众做好宣传解释工作。这是我国最高国家权力机关对发展核电及其方针的一次讨论，反映了国家意志，具有重要的法律意义。

36 1987年，国务院批准以中国原子能科学研究院改造后的重水研究堆为参考的我国15 MW实验研究重水堆出口，成为我国核技术出口的一个里程碑。随后，原子能院自行开发的微型中子源反应堆，以其广泛的应用领域、高度的安全性能和较低的造价，不仅在国内若干城市得到推广建造，而且成为国际原子能机构在发展中国家推广核能和平利用的一个推荐项目。中国原子能科学研究院通过国际原子能机构技术合作计划向巴基斯坦、伊朗、加纳、叙利亚、尼日利亚等国出口了微型堆。

37 1987年8月，大亚湾核电厂反应堆主体工程开工。1985年1月19日，邓小平接见嘉道理一行，表明中国最高领导人支持这一改革开放以来最大的中外合资项目。

广东大亚湾核电厂两座984 MW压水堆机组先后于1987年8月7日和1988年4月7日浇注第一罐混凝土，于1994年2月和5月投入商业运行。大亚湾核电厂建设，开创了我国利用外资、引进国外先进技术设备和管理经验，建设大型基础工程项目的新路子。



邓小平接见参加广东核电合营有限公司合同签字仪式的香港中华电力有限公司董事局主席嘉道理一行

43 1991年1月21日，中国自行设计建造的第一座铀氢锆脉冲反应堆在中国核动力研究设计院建成并首次达到临界。这种反应堆除了可作为海洋核电站的首选堆型外，还可进行中子辐照、中子活化分析以及中短寿命放射性同位素的生产。它的建造成功，使中国成为世界上第二个掌握这种反应堆设计建造技术的国家。

38 1988年9月，中国进行两次导弹核潜艇水下发射潜地导弹飞行试验，均取得圆满成功。这标志着中国已经完全掌握了导弹核潜艇水下发射技术，使中国成为世界上第五个拥有导弹核潜艇和具备水下发射弹道导弹能力的国家。

39 1988年10月，中国当时最大的基础科研建设项目北京正负电子对撞机建成。该机主要用于高能物理实验研究，同时进行同步辐射光应用研究。对撞机上用的北京谱仪是我国自行设计建造的粒子探测器，是国际上在该能区工作的最先进的探测器之一。

40 1988年国家机构改革，撤销核工业部的建制，成立中国核工业总公司；1999年又在中国核工业总公司的基础上组建成立中国核工业集团公司和中国核工业建设集团公司。这两次改革标志着中国核工业管理实行政企分开，逐步纳入社会主义市场经济体制。

41 1989年12月7日，宜宾核燃料元件厂生产的秦山核电厂300 MW压水堆燃料组件和相关组件，通过国家级验收。这表明中国有能力自行研制生产压水堆核电厂燃料组件和相关组件。在此基础上，该厂又通过引进法国先进技术改造生产线，生产300，600，900 MW系列压水堆核电厂燃料组件和相关组件。1995年1月19日，在该厂举行900 MW大型压水堆核电厂燃料组件和相关组件制造成功庆典，20日首批供应大亚湾核电厂的具有国际先进水平的燃料组件和相关组件运往大亚湾，标志着大亚湾核电厂燃料开始实现国产化。

42 20世纪90年代铀矿冶和浓缩铀生产逐步采用新技术。矿冶系统成功地采用了地浸、堆浸新技术并努力扩大地浸、堆浸在天然铀生产总量中的比例，为降低核燃料综合成本作出了贡献。与此同时，浓缩铀生产实现了技术更新换代，提高了生产效率，从而使分离功成本显著下降。

44 1991年5月，中国核工业公布30年来核环境质量的调查和评价结果。核工业建设和发展，历来十分重视环境保护。1981年3月，第二机械工业部第二次环保工作会议提出开展全国辐射环境质量评价工作。随后成立了专业组，对评价实施方案进行研究论证，同时开展评价试点工作，及时组织经验交流，并在此基础上逐步推开，进行全面调查和评价，历时10年，出版了专著。1991年5月25日中国核工业总公司举行新闻发布会，向国内外宣布核工业系统30年来辐射环境质量的全面调查和评价结果。调查结果表明：中国核环境安全始终保持了良好水平，同时预测核电开发对核环境质量也不会带来影响。

45 20世纪90年代新建4座核电厂陆续开工。1987年10月，国务院批准了秦山核电厂二期（两台600 MW压水堆机组）工程项目建议书。随后，又陆续批准了岭澳核电厂（以大亚湾核电厂技术为基础优化改进的两台百万千瓦级压水堆机组）、秦山核电厂三期（从加拿大引进全套技术设备的两台700 MW重水堆机组）、田湾核电厂（从俄罗斯引进全套技术设备的两台百万千瓦级压水堆机组）工程项目，标志着中国核电建设从起步迈向发展阶段。这4个项目8台机组的反应堆工程分别于1996年2月、1997年5月、1998年6月、1999年10月浇注第一罐混凝土，建成后中国核电装机容量将增加到8.7 GW。

46 1996年7月29日中国政府发表声明：从1996年7月30日起中国暂停核试验。这是为了响应广大无核国家的要求，也是为了推动核裁军而采取的一项实际行动。从1964年中国进行首次核试验后，到1996年共进行了45次核试验，其中半数是地下核试验，同其他核国家相比，中国核试验次数最少，成功率高，在辐射安全方面相当好。

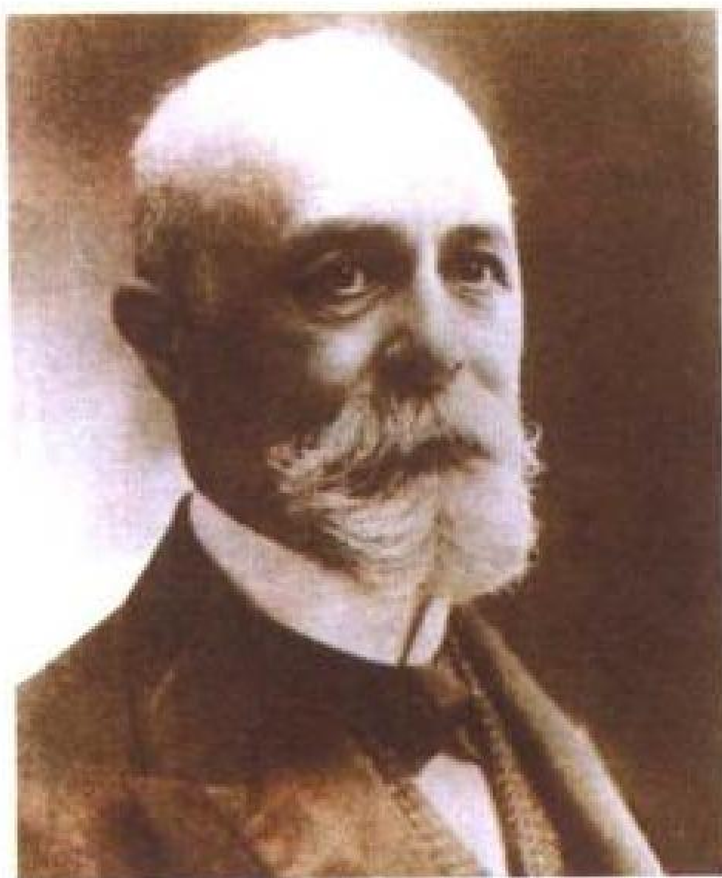
47 1999年5月31日，国务院新闻办公室宣布中国在掌握了原子弹、氢弹技术后，经过不太长时间的努力，就先后掌握了中子弹技术和核武器小型化技术。

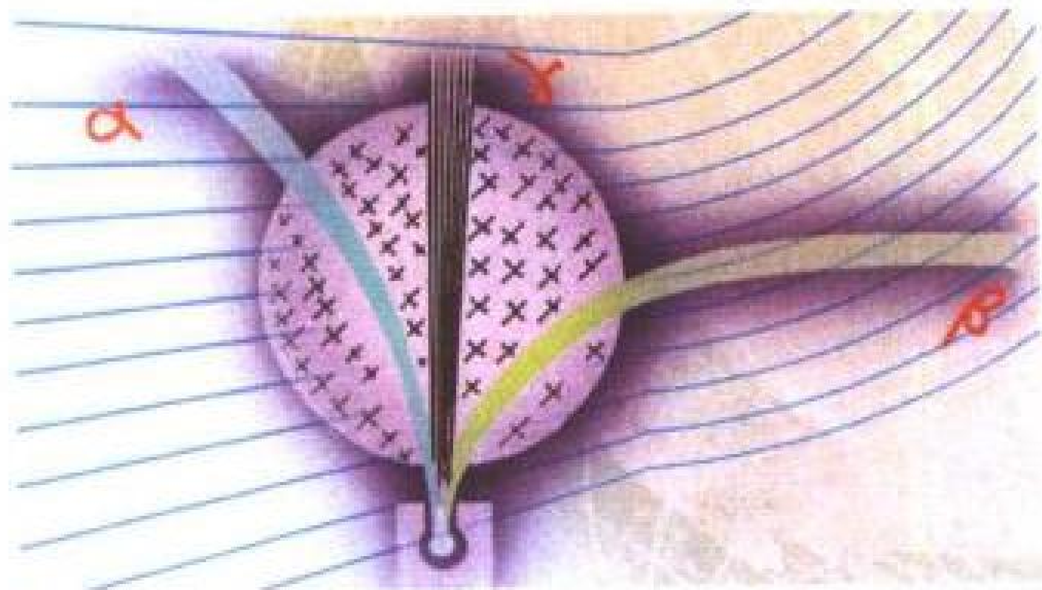
48 1999年9月18日，中共中央、国务院、中央军委在北京举行大会，隆重表彰为研制“两弹一星”作出突出贡献的科技专家。江泽民代表党中央、国务院和中央军委在会上作了重要讲话。核科技工业系统受到表彰并荣获“两弹一星功勋奖章”的有于敏、王淦昌、邓稼先、朱光亚、吴自良、陈能宽、周光召、钱三强、郭永怀、程开甲、彭桓武等11位科技专家。

（撰写：李鹰翔　审订：汪兆富）

国外部分

1 1896年3月，法国物理学家亨利·贝可勒尔发现铀盐自身能发出一种在黑暗中使底片曝光的神秘的射线——天然放射性，人们通常把这一重大发现作为原子核物理学的开端。发现放射性同1895年发现X射线和1897年发现电子一起被称为19世纪末的三大发现。这三大发现改变了人们关于物质和物质特性的传统观念，突破了经典物理学的旧框框，把物理学的研究对象由宏观、低速领域推进到微观、高速领域，使物理学产生了一个巨大的转变，从而揭开了20世纪物理学革命的序幕。1899年，卢瑟福研究了铀和钍发出的各种射线，并命名了其中的两种：一种是很容易被吸收的射线称之为α射线；另一种是穿透能力强一些的称之为β射线；后来法国科学家P.V.维拉德发现了穿透力更强的第三种射线，被命名为γ射线。


亨利·贝可勒尔



α、β、γ三种射线在磁场中偏转情况。α射线带正电荷，β射线带负电荷，两者偏转方向相反；γ射线不带电荷，因此不偏转

2 1898年，居里夫妇发现放射性元素钋和镭。居里夫妇在研究铀盐射线过程中，不仅“定性”地解释了物质的放射性，而且“定量”地测定了物质的放射性活度。他们对当时已经发现的所有已知元素（约80种）及其盐化物、氧化物等化合物逐一进行实验分析和化验，除了发现铀盐有放射性外，还发现钍的化合物也具有放射性。在对沥青铀矿的放射性进行实验检测过程中，发现了某些矿物显示的放射性比其中所含的铀和钍的放射性强200多万倍的现象。这表明有某种未知的放射性很强的物质存在。于是，他们采用溶解、提炼、结晶的实验方法从大量的沥青铀矿矿渣中分离出了放射性元素钋和镭，镭发出的射线比铀强千万倍。居里夫妇从铀盐物质和钍的化合物共同的性质中归纳出了“放射性元素”和“放射性现象”的概念，创立了一门新兴的学科——放射学。他们还从镭的氯化物和溴化物等化合物每时每刻都在产生氦原子的现象中归纳出一个新的概念——“原子蜕变”。

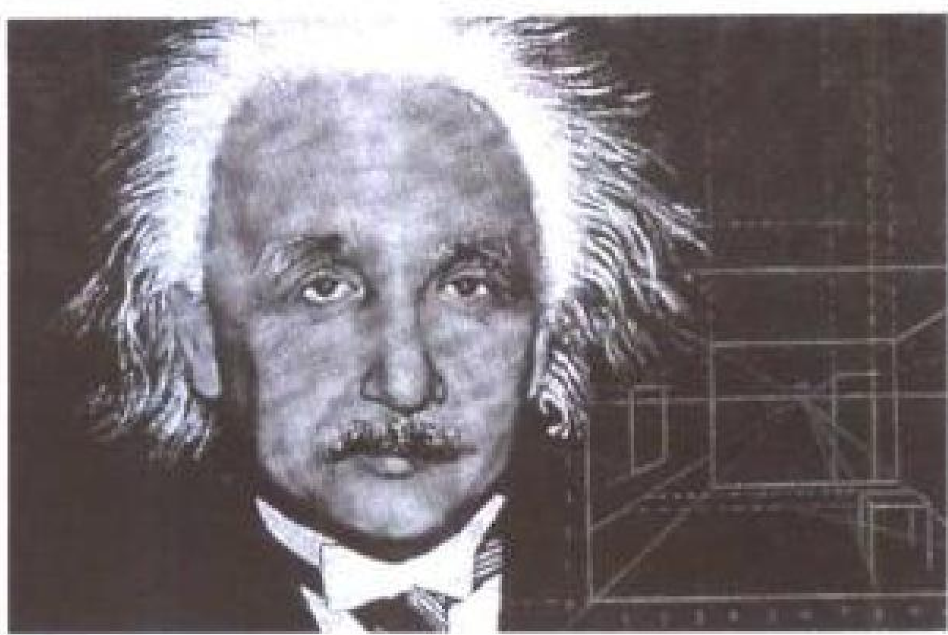

居里夫妇

第一位获得诺贝尔科学奖的女性是波兰人玛丽·居里夫人。她与丈夫皮埃尔·居里，和贝可勒尔三人一起获得诺贝尔物理学奖。后来，玛丽·居里夫人又获得了1911年度诺贝尔化学奖，成为世界上两次获得诺贝尔奖的第一位女科学家

3 1900年，马克斯·普朗克提出了这样一种假设：辐射（这里指某种给定颜色的光线）放出和吸收的能量不能以无限小的量进行。按照这种假设，频率为ν的电磁辐射的最小能单元为$\varepsilon=h\nu$，ε称做能量子或量子，比例常数h称做普朗克常量。普朗克的这一发现奠定了量子理论基础。1905年，爱因斯坦假定：光不是一个连续性的波动，而是像普朗克所说的辐射束那样的能束。这个假定进一步充实了量子理论。1913年尼尔斯·玻尔将量子理论应用到原子核周围的电子运动上。他发现一个电子的能量也是定量的——它吸收了能量（在这里指光能），就跳到了一条更高的轨道，如果它放出能量（譬如放出的能量同刚才吸收的能量相等），就跳回到原来轨道。当今，量子力学几乎成了所有科学里的基础科学。原子能、微电子、激光、化工、仪表、以至空间和宇宙科学都须臾离不开量子力学。

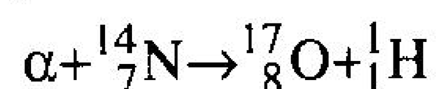
4 1906年，爱因斯坦在一篇文章中提出了著名的质—能关系式$E=mc^2$，E、m和c分别代表能量、质量和真空中的光速。这个关系式揭示了质量转化成巨大能量的可能性。后来，原子核物理学的研究实验证实了这一关系式的正确性。20世纪30年代末，德国科学家哈恩和迈特纳等人发现：重元素的原子核发生裂变后，生成物的质量小于反应物的质量，也就是说发生了“质量亏损”。例如，铀裂变

后所有生成物的质量统统加起来仍然小于铀元素的质量。这些消逝了的质量转变成了巨大的能量。原子弹所放出的能量就是由质量转化而来的。20 世纪的物理学家还发现，两个以上的轻元素的原子核氢核聚合成较重的原子核后，同样会发生“质量亏损”，损失了的质量转变为能量。同重核裂变产生的能量相比，把轻核聚变成为中等质量的原子核后，会放出更多的能量。氢弹就是根据这种原理制造出来的。爱因斯坦的伟大发现，使人们再也不能按照 19 世纪的观念去理解质量守恒定律、能量守恒与转化定律了。质量和能量也不再是单独存在，而存在着的是质—能统一体。这一发现是革命性的，它为人类开发核能的应用提供了重要依据。


晚年的爱因斯坦

5 1911 年，内斯特 · 卢瑟福提出有核结构模型。在他著名的 α 粒子散射实验中，通过对大角度散射的观察，提出了原子有核结构模型，认为原子存在一个带正电的核心——原子核。它的大小是 10^{-12}cm 数量级，只有原子大小的万分之一，但其质量却占整个原子质量的 99.9% 以上。1913 年卢瑟福提出原子内部隐藏巨大能量。卢瑟福提出原子核这一概念为原子物理学的发展奠定了基础。

6 1919年，卢瑟福做了有名的 α 粒子轰击氮元素的实验，核反应式为



$$\alpha+{}^{14}_{7}\mathrm{N}\rightarrow{}^{17}_{8}\mathrm{O}+{}^{1}_{1}\mathrm{H}$$

通过这种实验发现了一种粒子，它带一个单位正电荷的电量，其质量与氢原子核质量相等，这种粒子被称为质子。同时，用快速 α 粒子轰击其他元素的原子核时也能产生这种粒子。这个发现说明了原子核内是包含质子的。这一实验把氮元素转变成氧元素，首次实现人工核转变。

7 1932年发现中子。英国科学家查德威克等人在剑桥的卢瑟福实验室用 α 粒子轰击铍靶时获得一种未知辐射。查德威克经过多次实验和计算，最后确定这种辐射不是 γ 辐射而是他称之为中子的新粒子。中子被确认为是组成原子核的又一重要粒子。据此，科学家摆脱了有关原子核结构的某些假设的困境。同位素之谜也就由此迎刃而解。中子由于质量同质子相当，而且不带电荷，因此几乎不受核周围电子的影响。所以它可以作为具有惊人穿透力的新的核探测物。有的科学家认为从 1932 年发现中子起才开始了核物理的历史。可见,中子的发现是核物理发展史上的一个重大转折点和里程碑。为此，查德威克荣获 1935 年度诺贝尔物理学奖。

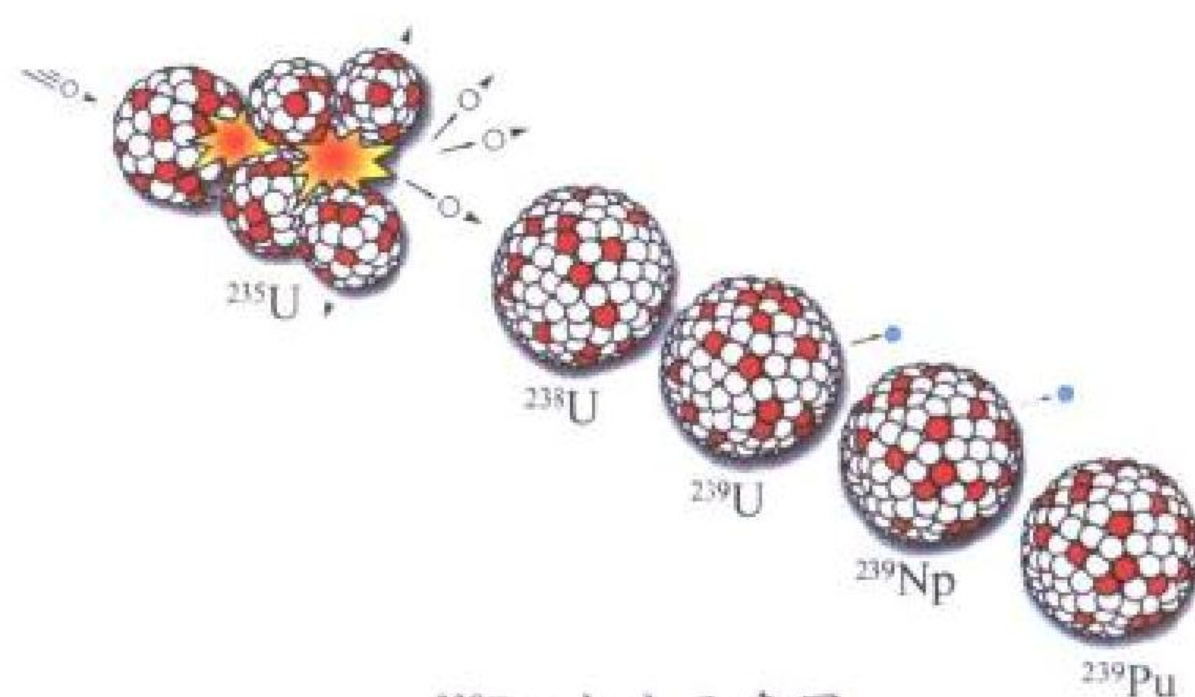
8 1932 年，英国的考克饶夫和瓦尔顿建造了世界第一台 0.7 MeV 直流高压倍加器，第一次用人工加速质子的办法实现了核反应。同年，劳伦斯建成了回旋加速器，最高能量达到 20 MeV。这些加速器为开展核研究提供了强大工具。

9 1934 年 2 月，约里奥 · 居里夫妇用 α 粒子轰击铝元素，第一次获得了人工放射性核素 ^{30}P（在这一发现之前，已知的放射性物质都是天然放射性元素，如镭和它的子体）。约里奥 · 居里夫妇证明，不但可以像卢瑟福作过的那样将原子核削下去一部分，而且可以用人工方法使核在放射性衰变中释放出一部分能量。人工放射性核素的获得给原子核结构理论赋予新内容，即利用 α 粒子、中子轰击稳定元素，能产生多种人工放射性核素。约里奥 · 居里夫妇获得人工放射性核素是 20 世纪最重要的发现之一，他们两人也因此获得 1935 年度诺贝尔化学奖。

10 1938 年 12 月，哈恩和斯特拉斯曼在用中子照射铀的研究中发现了原子核裂变现象，这是放射化学发展史上的又一个重大事件。1938 年 12 月，在哈恩公布科学报告前，他把这个实验结果告诉身在瑞典的老合作者梅特纳（L.Meitner)，梅特纳深信哈恩的实验不会错，并与其外甥费里希 (Otto Frisch) 仔细讨论了这个问题。费里希想起两年前玻尔提到的“原子核的液滴模型”，认为如果铀核被中子击中很可能分成两半。通过对裂变前后原子核结合能差的简单计算，他们很快估算出 1 个铀核裂变释放的能量约 200 MeV。于是，费里希很快用电离室观测到裂变碎片引起的电脉冲，证实了这一想法。他们借用生物学中细胞分离的概念，把这一现象称为裂变。哈恩因发现核裂变获得 1944 年度诺贝尔化学奖。

11 1939 年，西拉德（L.Szilard）和费密等人证实裂变过程中产生中子，并且很可能导致爆炸性链式反应。在 1939 年 4 月 22 日出版的《自然》杂志上刊登的约里奥 · 居里夫妇的一封信中指出，每次裂变平均产生 3.5 个中子，因此一定能发生链式反应。

12 1940 年，发现超铀元素镎和钚。麦克米伦对辐照后的铀进行研究时，发现了一种比铀还重的元素镎



^{239}Pu 生产示意图

○—中子；●—质子；●—电子

(第93号元素)。后来西博格发现，镎继续衰变成更为稳定的第94号元素，西博格和麦克米伦把这种元素称为钚。钚是核武器的重要装料。两人因这一发现获得了1951年度诺贝尔化学奖。

13 1942年12月2日，以费密为首的一批科学家在芝加哥的斯塔格球场的看台下建成了世界上第一座人工核反应堆——CP-1号实验反应堆，首次实现了人类历史上铀核的可控自持链式裂变反应。当时为了保密，这个用石墨砖砌成的反应装置代号为“PILE”(“PILE”是“堆”的意思)。今天我们常说的“反应堆”一词就来源于此。这座反应堆用天然铀作核燃料，石墨作慢化剂。当时花150万美元建设成的这座可控链式反应装置，宣告了人类利用核能时代的开始。

14 1942年，美国为抢在德国之前研制出原子弹，罗斯福与丘吉尔达成协议，把英国和美国科研部门的所有工作都集中在加拿大和美国，最高控制权由美国军政委员会掌握。1942年8月13日给研制原子弹的计划起了一个代号——曼哈顿计划(也称曼哈顿工程)。采用这一代号，是由于制造原子弹这项秘密计划的第一任军事长官乔治·马歇尔将军的办公室位于纽约的曼哈顿。曼哈顿工程的建设任务由美国陆军工程兵团承担，由L. R.格罗夫斯将军(Lesie R. Groves)担任曼哈顿计划的总负责人。曼哈顿计划耗资达20亿美元。这项计划及其相关工程在巅峰时期曾聘用近54万人，但只有12人了解这项计划的全部内容。曼哈顿计划成了核科学家的熔炉，使得美国科学家、英国科学家以及流亡到美国的意大利、德国、匈牙利科学家走到一起工作，其中不乏诺贝尔奖得主。该项计划建造了三座小型浓缩铀生产厂(电磁分离厂、热扩散厂、气体扩散厂)、三座石墨水冷产钚堆、一座后处理厂、一座重水厂、一个核武器研究室(洛斯·阿拉莫斯实验室)等重要核设施。通过实施这项计划，1945年美国研制出了3颗原子弹，其中1颗用于1945年7月16日在新墨西哥州阿拉莫戈多沙漠进行的爆炸试验(“三一试验”)，另外2颗分别于同年的8月6日和8月9日投在日本的广岛和长崎。



“三一试验”正在吊装原子弹

15 1945年，美国在日本广岛和长崎投下原子弹。1945年8月第二次世界大战结束前夕，美国军方曾秘密计划用原子弹轰炸日本的京都。由于京都是个历史悠久的城市，因而他们改变了主意，最后决定把广岛、长崎、小仓和新泻列为原子弹轰炸的目标。当时，日本在同盟国打击下，国力衰竭，败局已定，美国打算用原子弹加速战争胜利进程，迫使日本早日投降。另外，争取在战争结束前对仅有的两颗原子弹进行实战效应试验。执行此项任务的美国陆军航空兵第20联队第509混合大队为圆满完成任务，从1944年着手训练，多次在日本上空进行原子弹模拟投掷演练。1945年8月6日凌晨，执行突击任务的B-29轰炸机从马里亚纳群岛的提尼安岛起飞，另一架B-29飞机飞往硫磺岛，以便在运载原子弹的飞机起飞后万一发生故障时作为替用飞机。



投在广岛的原子弹

执行任务的还有气象侦察机和携带测试仪器和照相机器材作为观察和记录原子弹杀伤破坏效应的飞机。8时15分，B-29飞机在广岛上空9.633 km高度投下重约4.04 t的原子弹。8月9日上午11时2分，美国在长崎上空8.400 km投下第二颗原子弹(内爆式钚弹，代号为“胖子”，重约4.67 t)。8月10日，日本天皇决定向同盟国无条件投降。有人把美国在广岛和长崎投下原子弹列为20世纪发生的100件大事之一。

16 1949年，苏联爆炸第一颗原子弹。20世纪30年代，莫斯科、列宁格勒和哈尔科夫等地的研究所做了许多核物理实验，认识到了铀的军事应用价值。令人遗憾的是，第二次世界大战使这些研究工作中断了。斯大林在得知美国人研制原子弹的情况后作出了恢复核研究的决定。1943年著名的第二核实验室诞生了。后来，在此基础上组建了库尔恰托夫研究所，着手进行制造原子弹的小规模研究工作。1945年美国在日本广岛和长崎投下原子弹两个星期之后，苏联成立了专门委员会，决定用5年时间制造出原



1949年苏联爆炸的第一颗原子弹

子弹。在这个专门委员会领导下，苏联的核研究工作以前所未有的规模和速度展开，陆续建立了包括提取^{239}Pu在内的一系列军用核材料生产基地和原子弹研制基地。1948年，生产钚的反应堆开始运转。为组装原子弹，在阿尔扎马斯以南60 km处建造了一个实验室。在那里，如同在美国的洛斯·阿拉莫斯实验室所见到的一样，所有的科学家都通力合作，积极参加原子弹的研制工作。参加人很多，顶峰时期约有50万人参与了与制造原子弹有关的工作。1949年8月29日，苏联第一颗以钚为装料的原子弹在塞米巴拉金斯克爆炸成功，爆炸威力为20 ktTNT。苏联原子弹的试验成功，打破了美国的核垄断。

17 1952年，英国爆炸第一颗原子弹。1941年英国在内阁科学工业研究部设立专门机构，负责原子弹的研究工作。第二次世界大战时由于英国本土接近战场，加上战争使它消耗大量人力、物力，迫使英国同美国签订合伙研究和制造原子弹的协议。英国派出数十名核科学家参加美国的曼哈顿计划，帮助美国研制原子弹。第二次世界大战结束后，英国为了争取核大国的地位，利用战时与美国合作而获得的原子能科学技术情报，开始发展本国的原子能工业，建立英国“有限的核力量”。英国发展原子弹采取“先钚后铀”的方针。1947年建成第一座实验反应堆，1950年第一座生产钚的反应堆投入运行，1951年分离钚的后处理厂投产。1952年10月3日在澳大利亚的蒙特贝洛群岛爆炸了第一颗原子弹。至此，英国初步掌握了核武器的理论和制造技术。英国由于从美国获得了核机密资料，因而缩短了研制时间，所以比法国早约7年半爆炸了原子弹。


一架英国飞机正在装载核炸弹

18 1952年世界第一个实验性热核装置爆炸成功。1952年11月1日，美国在太平洋的埃尼威克岛爆炸了世界上第一个热核装置，爆炸威力为10.4 Mt TNT,实现了氢弹的原理突破。其装料主要是液态的氘。为使氘保持液态，必须有一套冷却设备，所以这一个装置的体积很大，重达65 t，难以在军事上应用。实际上它只能被看做是一个热核装置。

19 1953年第一艘核潜艇陆上模式堆达到临界。在1951年8月20日，美国电动船舶公司建造第一艘核潜艇的合同正式签订；1951年10月25日，核潜艇的代号被确定为SSN，首艇被命名为“鲸鱼”号。1952年6月14日，“鲸鱼”号进行了隆重的龙骨铺设仪式。总统、国会领袖、三军将领、原子能委员会官员、工业界首脑和众多的新闻界人士应邀出席。1953年3月3日，“鲸鱼”号的陆上模式堆达到了临界，6月25日反应堆提升到满功率并进行了全面的试验，在长达96 h相当累计航程2500 n mile的连续运行中，反应堆运行状况良好。陆上模式堆的建造和运行的成功，为“鲸鱼”号潜艇的核动力装置奠定了坚实的技术基础。1954年1月21日，艾森豪威尔总统夫人主持了“鲸鱼”号核潜艇下水典礼。“鲸鱼”号的核动力反应堆在1954年12月30日达到临界，1955年1月3日提升到满功率。1955年4月22日，“鲸鱼”号作为世界上第一艘作战核潜艇加入美国海军舰队。“鲸鱼”号的核反应堆用第一炉核燃料共航行了62562 n mile。

20 1954年，苏联建成了世界上第一座核电厂——奥布宁斯克核电厂。电厂采用的是5 MW的轻水石墨堆。世界第一座核电厂的建造和运行，为建设别洛雅尔斯克等核电厂提供了经验，顺利完成了它的历史使命。接着，美国希平港压水堆核电厂于1954年9月动工建设，1957年12月并网发电。从此，核能开始了被用来为人类的社会进步和经济发展服务。

21 1954年2月28日，美国在太平洋比基尼岛爆炸了一颗威力为15 Mt TNT的氢弹，总重量约20 t。这颗氢弹是“三相弹”。这种炸弹爆炸经历了裂变—聚变—裂变三个过程，故称其为三相弹。三相弹的特点是威力大，放射性尘埃多。这颗氢弹爆炸后在太平洋约18000 km^{2}地区上空笼罩着致命的放射性尘雾，使日本福龙丸号渔船上的23名渔民受到放射性伤害，其中一名在半年后死亡，因此激起了日本人民的强烈抗议。另外，还有236名马绍尔群岛人受到放射性伤害。

22 1955年11月22日，苏联进行了第一次大威力氢弹试验，威力为数百万吨TNT当量。另外，苏联在1961年10月30日进行了一次威力大到50 MtTNT的氢弹试验，这是迄今为止世界上爆炸威力最大的一次核试验。

23 1956年，旅美物理学家李政道和杨振宁在研究β衰变的过程中，发现宇称不守恒，推翻了宇称守恒定律。物理学家吴健雄在实验中对此发现进行了验证。李政道和杨振宁发现了在弱相互作用下宇称不守恒，这不仅促进β衰变本身的研究，而且促进了基本粒子物理学的发展，因此获得1957年度诺贝尔物理学奖。

24 1957年7月29日，国际原子能机构成立。该机构是联合国系统内一个独立的政府间组织。机构总部设在奥地利维也纳，机构现有100多个成员国。这些成员国共同工作，以实现国际原子能机构《规约》的主要宗旨，加速和扩大原子能对全世界和平、健康及繁荣的贡献，并尽其

所能确保由其本身、或经其要求、或在其监督或管制下提供的援助不致用于推进任何军事目的。

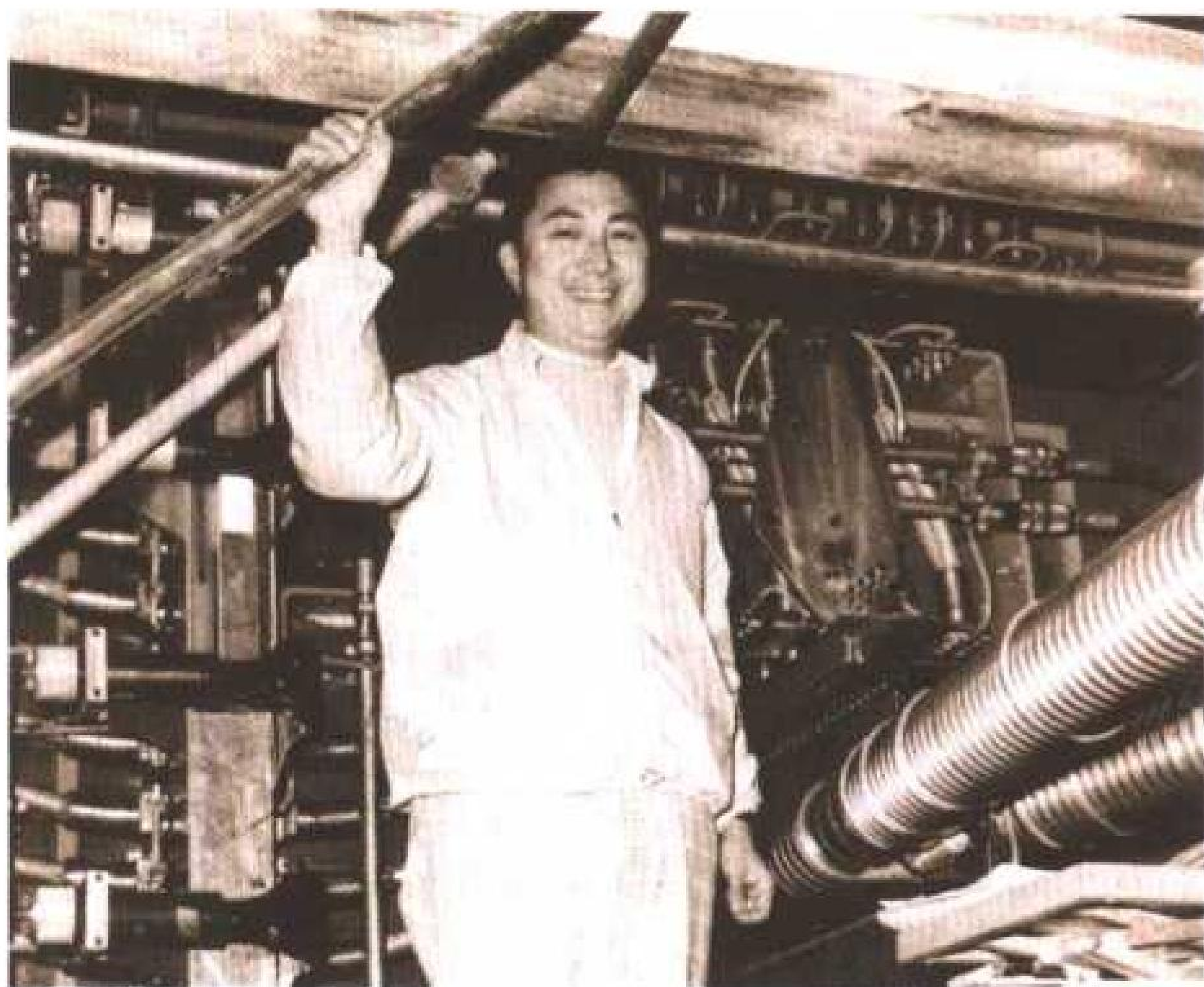
25 1958年，发现穆斯堡尔效应。穆斯堡尔（Mössbauer）效应是无反冲的γ共振吸收和共振散射效应。自从1958年德国物理学家穆斯堡尔发现这种核物理效应以来，穆斯堡尔效应的应用取得飞跃的进展，并逐渐形成了一门边缘科学——穆斯堡尔谱学。穆斯堡尔谱学现已成为研究物质微观结构的有力工具，在物理学、化学、生物学、地质学、冶金学等领域中获得了广泛的应用。穆斯堡尔谱学是自1912年发现X射线衍射和1938年建立第一台电子显微镜以来，在物质微观结构分析方面取得的又一重大进展。由于穆斯堡尔的杰出贡献，他获得了1961年度诺贝尔物理学奖。

26 1959年，"列宁"号破冰船下水。它是世界上第一艘核动力水面舰船。它以三台90 MW的压水堆做推进动力，每个月能航行近10000 km，其中四分之三的航程要通过很厚的北极浮冰。苏联通过建造核动力破冰船，为建造核动力舰船提供了经验。三年后，美国建造了一艘排水量为2万吨的"萨凡纳河"号核动力运输船。

27 1960年，法国爆炸第一颗原子弹。第二次世界大战后，法国戴高乐政府为恢复大国地位，摆脱美国的控制，开始大力发展原子能工业，建立"有限核打击力量"。由于美国对核技术封锁，法国只能靠本国技术力量发展原子能事业。1945年成立原子能委员会，为发展原子能工业作组织准备。20世纪50年代初，法国没有力量建造浓缩铀厂，为尽早制成原子弹，采取了"先钚后铀"的方针。1948年12月15日第一座功率为150 kW的天然铀重水实验反应堆（El-1）建成。在此基础上建造了产钚堆。在考虑到军用的同时，法国也考虑了为以后民用核发电积累经验，所以堆型选为天然铀石墨气冷产钚发电两用堆，以产钚为主。1956～1959年间，在马尔库尔先后建成三座这样的两用堆（G1，G2，G3反应堆）。1958年第一座钚分离厂投产。1960年2月13日在非洲撒哈拉沙漠成功地爆炸了第一颗原子弹，成为第四个拥有核武器的国家。

28 1968年8月24日，法国成功地爆炸了氢弹。就成功爆炸第一颗原子弹到成功爆炸第一颗氢弹所经过的时间而言，美国、苏联、英国、中国、法国五个国家中，中国用的时间最短。

29 1974年，美籍中国物理学家丁肇中领导的科研组在布鲁克海文33 GeV同步加速器上和美国物理学家B.里奇特（B.Richter）领导的科研组在斯坦福直线加速器中心的电子—正电子对撞储存环上，几乎同时发现了J/ψ粒子。这种新粒子寿命特别长，后来被确认为是由正反粲夸克组成的介子。这一发现对高能物理世界产生了很大影响，丁肇中和B.里奇特共同获得了1976年度诺贝尔物理学奖。



丁肇中在欧洲核研究机构交叉对撞储存环实验室做实验

30 1977年7月6日，美国官方发表的消息证实，1976年美国在内华达沙漠地区成功试爆了一颗中子弹。1977年卡特政府批准生产中子弹，为陆军"长矛"导弹系统研制W70-3中子弹头和为陆军203 mm口径大炮生产中子炮弹。中子武器的辐射比同威力的裂变武器大10倍，而冲击波和热辐射只是其百分之五十。由于中子弹增强了核辐射，所以又称它为强辐射武器。

31 1979年3月28日清晨4时，美国宾夕法尼亚州哈里斯堡附近的三里岛核电厂2号压水堆的堆芯发生严重损坏事故。这次事故的起因是二回路给水泵跳闸和事故给水管线上的阀门由于误操作处于关闭状态，造成蒸汽发生器二次侧给水中断。这本来是蒸汽发电厂的一种普通故障，是容易处理的。但在处理过程中出现的机械故障和人为误操作等多种原因导致了核电史上第一次反应堆堆芯严重损坏事故。3月30日，宾夕法尼亚州发布了要求8 km内的学龄前儿童和孕妇撤离的通告，曾引起人们惊慌，约有8万居民自发撤离了三里岛地区。三里岛事故造成的直接经济损失十分巨大，仅反应堆设备损坏和长期清理费用就约达20亿美元。

32 1986年4月26日凌晨1点23分，苏联切尔诺贝利核电厂4号反应堆发生堆芯毁坏和放射性外逸的严重事故。切尔诺贝利核电厂4号堆是1 GW级大型石墨管道式沸水反应堆，于1983年12月投入运行。1986年4月25日乘计划停堆检修前的机会，做汽轮发电机惰走带负荷的试验。但试验程序的临时改动未经安全审批。在试验过程中，操作人员的违章操作和判断失误，再加上反应堆设计上的固有弱点，导致了这场灾难性事故。熔融的燃料碎粒与冷却剂剧烈反应引起蒸汽爆炸，石墨燃烧，一回路系统和反应堆厂房被破坏，大量放射性物质释入大气。爆炸飞出的灼热

碎片散落到邻近汽轮发电机厂房和辅助设施上面，引起多处着火。2000年召开了联合国原子辐射效应科学委员会第49次大会，对切尔诺贝利核事故造成后果作出最后结论：1986年发生在苏联的切尔诺贝利核事故的急性死亡人数为30人，其中28人为辐射致死，2人为其他原因致死。死者都是电厂工作人员和消防人员。开始检查时有急性放射性病状的人数为237人，最后诊断为急性放射性病的是134人，其中包括上述辐射致死的28人。对于人们关心的核事故“远期效应”，即辐射致癌风险等问题，最新报告显示：切尔诺贝利核事故发生14年来，除了在白俄罗斯、俄罗斯和乌克兰童年甲状腺癌的发生率有所增加（甲状腺癌治愈率比较高）外，没有发现对广大公众产生影响，没有发现可以归因于辐射的总癌症发生率和死亡率增加的任何科学证据，也没有发现白血病增加的任何科学证据。

33 1998年印、巴两国竞相进行核试验。印度在1998年5月11日和13日短短两天时间内连续进行了两次核试验。据称这两次核试验为不同用途、不同运载系统、不同威力的核武器设计提供了数据，增强了利用计算机进行新的模拟设计的能力。早在1948年，印度就成立了原子能委员会；1954年，印度成立原子能部。印度通过民用核能计划秘密储存核武器材料，研究、开发核武器技术并取得突破。1974年5月爆炸了第一个核装置。自那时起的24年中，印度没有进行核试验，但从未停止核武器的研制计划。

巴基斯坦于1998年5月28日至30日进行了两次核试验。（撰写：王连奎　审订：杨宇）

INDEX OF ARTICLES

参 考 文 献

[1] 中国军事百科全书编审委员会编.中国军事百科全书:第5卷，第6卷.北京:军事科学出版社，1997.
[2] 中华人民共和国民用核设施安全监督管理条例.HAF0500.北京:中国法制出版社，1995.
[3] Gibson J N.Nuclear Weapon of the United States. Schiffer Publishing Ltd. 1996.
[4] Hansen C U S . Nuclear Weapons — The Secret History. New York: Aerofax Inc，1988.
[5] [美]萨·格拉斯顿主编.核武器效应.姚琮，黄新渠等译.北京：国防工业出版社，1965.
[6] 中国军事百科全书编审委员会编.中国军事百科全书：核武器分册.北京：军事科学出版社，1990.
[7] 乔登江编著.核爆炸物理概论.北京：原子能出版社，1988.
[8] 军事大辞典编辑委员会编.军事大辞典.上海：上海辞书出版社，1987.
[9] 海军大辞典编辑委员会编.海军大辞典.上海：上海辞书出版社，1993.
[10] 中国军事百科全书编审委员会编.中国军事百科全书：化学、生物武器和防核、化学、生物武器技术分册.北京：军事科学出版社，1990.
[11] [美]理查德·罗兹著.原子弹出世记. 李汇川等译.北京:世界知识出版社,1990.
[12] 当代中国丛书编辑委员会编.当代中国丛书：当代中国的核工业.北京：中国社会科学出版社，1987.
[13] Drell S D, et al. Nuclear Testing–Summary and Conclusions, JASON Report, JSR–95–320,August 3, 1995.
[14] 杜祥琬主编.核军备控制的科学技术基础.北京:国防工业出版社，1996.
[15] 美国众议院特别委员会.关于美国国家安全以及对华军事及商业关系的报告.王振西等译.北京:新华出版社，1999.
[16] 王坚，李路翔编著.核武器效应及防护.北京：北京理工大学出版社，1993.
[17] 国际放射防护委员会.国际放射防护委员会第60号出版物：国际放射防护委员会1990年建议书.李德平,孙世荃等译.北京;原子能出版社，1993.
[18] 中华人民共和国国家标准.核科学技术术语：辐射防护与辐射源安全.GB/T 4960.5–1996.北京:中国标准出版社，1996.
[19] 国际放射防护委员会.国际放射防护委员会第32号出版物：工作人员吸入氡子体的限值.孙世荃，李素云译.北京：原子能出版社，1984.
[20] 陈济东主编.大亚湾核电站系统及运行(中册).北京：原子能出版社，1994.
[21] 核科学技术辞典编委会编.核科学技术辞典.北京：原子能出版社，1993.
[22] 孙世则主编.放射损伤临床.北京：原子能出版社，1989.
[23] IAEA.The Safe Management of Source of Radiation.INSAG–11.Vienna,1999.
[24] IAEA. Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants. INSAG–3, Vienna, 1988.
[25] IAEA. The Safety of Nuclear Power Plants: Design Safety Standards Series No. NS–R–1. NS 181. Vienna, 2000.
[26] 国家核安全局编.中华人民共和国核安全法规汇编. 北京：中国法制出版社，1995.
[27] 中华人民共和国国家标准.压水堆核电厂物项分级.GB/T 17569 — 1998.北京：中国标准出版社，1998.
[28] IAEA. Nuclear Safety Definitions in NUSS Fundamental and Codes. Vienna, 1998.
[29] 李士骏编.电离辐射剂量学.第2版.北京:原子能出版社，1986.
[30] 潘自强著.辐射防护的现状与未来.北京:原子能出版社，1997.
[31] Игоря Сергеева.ОРУЖИЕ И ТЕХНОЛОГИИ РОССИИ.Энциклопедия XXI век:Том I СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ЯДЕРНЫЕ СИЛЫ.Москва:Издательский дом "Оружие и технологии", 2000.
[32] 中华人民共和国国家标准.核科学技术术语:核物理与核化学.GB/T 4960.1 — 1996.北京:中国标准出版社，1996.
[33] IAEA. Generic Assessment Procedures for Determining a Reactor Accident. IAEA–TECDOC-955. Vienna,1997.
[34] IAEA.Method for the Development of Emergency Response Preparedness for Nuclear or Radiological Accidents. IAEA-TECDOC-953.Vienna.1997.
[35] 国际放射防护委员会. 国际放射防护委员会第63号出版物：放射应急中保护公众的干预原则. 陈惠莉，张延生译.北京：原子能出版社，1997.
[36] IAEA. Safety Standards Series. Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material. Vienna,1996.
[37] 国家核安全局政策法规处编.核电厂安全导则汇编.北京：中国法制出版社，1992.
[38] IAEA. Management of Operational Safety in Nuclear Power Plants. INSAG-13.Vienna，1999.

[39] 中国大百科全书总编辑委员会《电子与计算机》编辑委员会编．中国大百科全书：电子与计算机．北京：中国大百科全书出版社，1994.
[40] 现代电子科学技术词典编委会编．现代电子科学技术词典．北京：电子工业出版社，1992.
[41] 王经瑾等编．核电子学．北京：原子能出版社，1985.
[42] 赖祖武著．电磁干扰防护和电磁兼容．北京：原子能出版社，1993.
[43] 计量测试技术手册编委会编．计量测试技术手册：第十二卷电离辐射．北京：中国计量出版社，1997.
[44] 汲长松编著．核辐射探测器及其实验技术手册．北京：原子能出版社，1990.
[45] 丁洪林．半导体探测器及其应用．北京：原子能出版社，1989.
[46] 中国大百科全书总编辑委员会《化学》编辑委员会编．中国大百科全书：化学．北京：中国大百科全书出版社，1985.
[47] 仉宝聚，高必娥著．世界超大型铀矿床与中国目标类型．北京：原子能出版社，1997.
[48] 陈肇博等．赛马碱性岩与成矿作用．北京：原子能出版社，1996.
[49] 中国冶金百科全书总编辑委员会《有色金属冶金》编辑委员会编．中国冶金百科全书：有色金属冶金．北京：冶金工业出版社，1999.
[50] 中国电力百科全书编辑委员会编．中国电力百科全书：核能及新能源发电卷．北京：中国电力出版社，1995.
[51] [美] 莱斯利·R.格罗夫斯著．世界原子弹氢弹秘史丛书：现在可以说了．钟毅，何伟译．北京：原子能出版社，1991.

后 记

《国防科技名词大典》是在国防科学技术工业委员会的领导下，由科技与质量司具体组织编撰的大型国防科技工具书。核能卷作为这部辞书的组成部分，收录了核科技名词术语近3200条，彩色图表近800幅，160余万字。

根据总编委会关于“求新、求精、优质、高效”的编撰要求，核能卷编委会设立了5个专业组，聘请了14位各专业领域的知名专家分别担任专业组组长和副组长；邀请了包括两院院士在内的300余位专家参加词条撰写和审订工作。专家们经过多次研究，确定了本卷的框架和应入选词条，做到了框架合理，入选词条全面；在编撰审订过程中，参阅了《核科学技术辞典》、《中国大百科全书》、《中国军事百科全书》、《中国电力百科全书》、《海军大辞典》等国内外众多工具书，广泛吸取和利用他人的经验和成果；与此同时，尽可能多地收集核科技领域出现的最新名词术语。核能卷编委会先后组织召开了30多次审稿会，应邀参加审稿的专家约有400人次。这些专家对词条，特别是新术语进行了逐字逐句的审查和修改，最后由总编委会审核定稿。

本卷的绝大多数词条是新撰写的；有少部分词条是在已有参考释文的基础上，根据核科学技术的新发展进行了适当的修订；还有少量词条，由于原有释文(图表)符合本书的编撰要求，本卷进行了适当的引用。对于这些词条的作者，我们一并表示感谢。

集当代众多高新技术于一体的核科学技术，发展迅速，新概念、新技术、新产品不断涌现，我们将对新的核科技名词术语及时进行汇总、归纳、积累，希望广大读者提出宝贵的意见和建议。

《国防科技名词大典》
核能卷编委会
2001年12月